

Aus der Klinik für Chirurgie der  
Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. med. H.-P. Bruch

---

**Hydro-Jet assistierte laparoskopische Cholecystektomie**  
**Entwicklung und Evaluation der Wasserstrahldissektionstechnik**  
**zur Reduktion methodenspezifischer Komplikationen**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde der  
Universität zu Lübeck  
- Aus der Medizinischen Fakultät -

vorgelegt von  
Christina Beiring  
aus Husum

Lübeck 2004

- 1. Berichtstatter: PD Dr. med. H. Shekarriz Foumani**
- 2. Berichtstatter: Prof. Dr. med. Hendrik Schimmelpenning**

**Tag der mündlichen Prüfung: 27.08.2007**  
**zum Druck genehmigt. Lübeck, den 27.08.2007**

**gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach**  
**- Dekan der Medizinischen Fakultät -**

# INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
<b>I. Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>04</b>
Entwicklung der Dissektionstechniken	04
Entwicklung der laparoskopischen Chirurgie	05
Entwicklung der Wasserstrahldissektionstechnik (WSDT)	08
Zielsetzung	10
<b>II. Material und Methoden</b>	<b>11</b>
Retrospektive Studie	11
Experimentelle Studie	11
<b>III. Ergebnisse</b>	<b>18</b>
Retrospektive Studie	18
Experimentelle Studie	20
<b>IV. Diskussion</b>	<b>23</b>
Komplikationen, die aus Nadel- bzw. Trokarinsertion resultieren	23
Komplikationen als Folge der Erstellung des Pneumoperitoneums	25
Komplikationen bedingt durch das operative Vorgehen	26
<b>V. Schlussfolgerung</b>	<b>33</b>
<b>VI. Zusammenfassung</b>	<b>34</b>
<b>VII. Literaturverzeichnis</b>	<b>35</b>
<b>VIII. Anhang</b>	<b>42</b>
<b>IX. Lebenslauf</b>	<b>44</b>
<b>X. Danksagung</b>	<b>45</b>

# **EINLEITUNG**

## **Entwicklung der Dissektionstechniken**

Schon aus der prähistorischen Zeit sind uns Behandlungsmethoden überliefert, die wir heute der Chirurgie zuordnen würden, weil sie mit dem Durchtrennen der Haut und Manipulationen im Körperinneren einhergehen. Die Urformen unserer heutigen Skalpelle wurden hergestellt aus Knochen, Fischgräten und Steinen. Mithilfe dieser scharfen Instrumente wurden bereits damals kleinere, chirurgische Eingriffe wie zum Beispiel Abszesseröffnungen durchgeführt [29, 39].

Mit der Weiterentwicklung hin zu Messern mit einer Schneide aus Stahl und Handstücken aus Bronze wurden dann zur Zeit des Hippokrates (466-377 vor Christi) größere Operationen möglich: Resektionen einzelner Glieder, Trepanationen des Schädels oder auch Nephrotomien bei Nierenabszessen sind überliefert, auch wenn die Problematik der Blutstillung der chirurgischen Innovation Grenzen setzte [2, 29, 39].

Erst die Einführung des Glüheisens im 3. Jahrhundert vor Christi und die Entwicklung der Gefäßligatur in der Alexandrinischen Zeit ermöglichten ausgedehnte Blutstillung an kleinen wie großen Gefäßen. Mit dem Wissen um die anästhetische Wirkung der Alraunwurzel (Mandragoras), deren wirksame Substanz dem Scopolamin verwandt ist, waren somit nahezu alle Eingriffe möglich [29, 39].

Bis ins Mittelalter hinein gingen viele dieser Erkenntnisse verloren. Auch Neuerungen aus dieser Zeit sind nicht überliefert. Man war lediglich bemüht, die chirurgischen Instrumente schmucklos zu halten, um deren Reinigung zu erleichtern.

Die Entwicklung der Elektrochirurgie, d.h. der Anwendung von Hochfrequenzströmen als chirurgisches Messer, führte zum Einsatz eines Skalpells, das trotz stumpfer Klinge, Gewebe glatt durchtrennt und zeitgleich eine Blutstillung ermöglicht.

Damit waren zwei bis dahin voneinander getrennte Tätigkeiten (Schneiden und Blutstillung) von nun an in einem Arbeitsvorgang zusammengefasst [12, 34, 39, 52].

Berührungsfreies Schneiden wurde mit der Einführung der Lasertechnik 1961 möglich: ein hochenergetischer, monochromer und kohärenter Lichtstrahl erzeugt abhängig von der gewählten Wellenlänge unterschiedliche Schnittqualitäten im Gewebe [39].

Heutzutage werden die meisten Operationen mit den herkömmlichen Instrumenten, wie Skalpell, Schere, Klemmen, Nahtmaterial und einem Hochfrequenzkoagulator

durchgeführt [39].

Allerdings erfordern innovative Operationstechniken auch heute die Entwicklung sicherer und praktikabler Instrumente. So ist zum Beispiel der erweiterte Einsatz der Laparoskopie vom ehemals rein diagnostischen hin zum therapeutischen Verfahren ohne ein solches Instrumentarium nicht denkbar.

## **Die Entwicklung der laparoskopischen Chirurgie**

( laparae- die Flanke; skopae- spähen )

Als Begründer der Laparoskopie wird der Dresdner Chirurg Georg Kelling (1866-1945) aufgeführt, der im Jahre 1901 die Bauchhöhle eines Hundes mit einem Cystoskop untersuchte [25, 30, 33]. Auch wenn das Instrumentarium primitiv war, führte Kelling schon diese erste - von ihm „Koelioskopie“ genannte - Laparoskopie nach auch heute noch gängigen Prinzipien durch [51] :

Zunächst wurde mit Hilfe einer einfach mit Luft gefüllten Spritze das Pneumoperitoneum erzeugt. Das Cystoskop wurde dann über ein Trocar eingeführt, und die Beobachtungen der Bauchhöhle wurden möglich.

Den Begriff „Laparothorakoskopie“ prägte Hans Christian Jacobaeus (1879-1937) in seinen 1913 veröffentlichten Abhandlungen, in denen er seine Erfahrungen von 138 Untersuchungen schildert. Erkrankungen wie Aszites, Syphilis, Tuberkulose und Zirrhose diagnostizierte der Stockholmer Internist bei seinen laparoskopischen Untersuchungen der Brust- und Bauchhöhle [33, 51].

In den nun folgenden Jahren wurden, basierend auf den Erfahrungen von Jacobaeus, laparoskopische Untersuchungen in vielen Ländern, u.a. in Österreich (Tedesko), in Dänemark (Janssen), in Ungarn (Balint), in Deutschland (Brauer, Hegler) und in den USA (Bernheim) durchgeführt [27].

Über viele Jahre änderte sich nur wenig an der Technik der Laparoskopie. Dem deutschen Hepatologen Heinz Kalk (1895-1973), der sich ebenso wie Gerhardt Katsch intensiv mit der so genannten „Bauchfenstermethode“ auseinandersetzte, haben wir folgende, bedeutende Neuerungen zu verdanken:

Mit seinem verbesserten Laparoskop mit prograder Optik - die optische Achse verläuft in gleicher Richtung mit der Kamera -, das ein größeres Blickfeld und damit eine bessere Orientierung ermöglichte, trug Heinz Kalk entscheidend zur Weiterentwicklung der Laparoskopie in Europa bei. Außerdem erkannte er die große Bedeutung der Laparoskopie gekoppelt mit der gezielten Biopsie für die Diagnostik von Lebererkrankungen und sorgte für die endgültige Trennung von Laparoskopie und Thorakoskopie.

Zahlreiche Mediziner kritisierten Kalks laparoskopische Tätigkeit. Internisten,

denen bis zu diesem Zeitpunkt die medikamentöse Behandlung vorbehalten war, sprachen von einer aggressiven, brutalen „semichirurgischen Harpunendiagnostik“. Die Chirurgen lehnten ein solches Vorgehen als zu gefährlich ab [27].

Die einfache, mit der Hand zu bedienende Spritze, die Kalk zur Erzeugung des Pneumoperitoneums mit Luft füllte [27], wurde mit der Entwicklung der „automatischen Nadel“ durch Otto Goetze 1918 [30, 51] und der Anwendung von Kohlendioxid bei der Laparoskopie durch den Schweizer Arzt Richard Zollikofer im Jahre 1924 [25, 27] unpopulär.

Seit 1938 wird die nach ihrem Erfinder benannte Veress-Nadel zur Erzeugung des Pneumoperitoneums eingesetzt.

Einen großen Beitrag zur Weiterentwicklung der Laparoskopie leistete der Kieler Gynäkologe Kurt Semm, der sich nach dem zweiten Weltkrieg wie auch seine Kollegen Palmer und Frangenheim intensiv mit der operativen Technik der Laparoskopie beschäftigte und in den sechziger Jahren nicht nur zahlreiche Instrumente für die endoskopische abdominelle Chirurgie sondern v.a. ein Gerät zur automatischen, druckkontrollierten Gasinsufflation entwickelte [51].

Damit schaffte er bedeutende Grundlagen der heutigen endoskopischen, abdominellen Chirurgie.

Die Einführung der computer-chip television camera, die Videolaparoskopien möglich machte, sorgte für weitere Akzeptanz und Popularität dieser nun schon mehr als achtzig Jahre alten Methode [51].

Mit zunehmendem technischem Fortschritt erweiterte sich auch der Indikationsbereich für operative Eingriffe unter laparoskopischer Sicht. In den achtziger Jahren gelang der Laparoskopie dann endlich der bahnbrechende Einzug in die Chirurgie. Im September 1980 wurde von K. Semm die erste Appendektomie, im Jahre 1985 die erste Cholecystektomie durch E. Mühe in laparoskopischer Technik durchgeführt [27, 28, 31, 47].

Skepsis und Ablehnung, mit der so viele Mediziner in all den Jahren zuvor der Laparoskopie begegnet waren, wandelten sich in kürzester Zeit um in euphorische Begeisterung für die minimal invasive Methode. Nicht zuletzt geringerer Wundschmerz, schnellere Rehabilitation und ein zufriedenstellenderes kosmetisches Ergebnis haben zu der plötzlichen Akzeptanz der Laparoskopie von Seiten der Patienten geführt [24].

Allerdings haben lange Zeit Studien, die den wirklichen Wert der Laparoskopie für den Patienten evaluieren und Komplikationen und Gefahren untersuchen, gefehlt

[43, 48].

Als Ergebnis retrospektiver, multizentrischer Studien, die Mortalität und Komplikationen laparoskopischer und konventioneller Cholecystektomien vergleichend untersuchen, zeigt sich, dass bei in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien die Mortalitäts- und Komplikationsraten deutlich niedriger ausfallen als bei dem konventionellen Verfahren [15]; unabhängig von den Vorteilen, die sich für den Patienten aus der minimal invasiven Methode ergeben, nämlich: geringerer Wundschmerz, deutlich verkürzte Krankenhausaufenthalte und die schnellere Rehabilitation [15, 24].

Hervorzuheben bleibt aber, dass sich das Spektrum der Komplikationen bei laparoskopischen Cholecystektomien von dem beim konventionellen Verfahren unterscheidet.

Zugangskomplikationen wie Punctionen oder Perforationen von Intestinalorganen und Gefäßen - einschließlich der schwerwiegenden Verletzung der Aorta - durch Trocare (Komplikationsrate verringert bei Trocarplazierung unter Sicht [16]) oder die Veress-Nadel, aber auch Probleme wie extraperitoneale Gasinsufflation, Hyperkapnie, Gasembolien und kardiovaskuläre Komplikationen lassen sich aus der operativen Vorgehensweise erklären.

Die iatrogene Gallengangsverletzung als Folge einer unübersichtlichen Präparation - bei Adhäsionen oder anatomischer Variabilität - einerseits verbunden mit dem Risiko des intraoperativen Steinverlustes und potentieller konsekutiver Infektion bis hin zur Abszessbildung oder Ileussyndromatik [11, 23, 58] und andererseits verbunden mit der möglichen Bildung einer Gallefistel und der Gefahr der galligen Peritonitis stellt eine häufigere Komplikation bei laparoskopischen als bei konventionellen Cholecystektomien dar [13, 48].

Auch die diffuse Parenchymblutung aus dem Leberbett, eine weitere Komplikation der laparoskopischen Methode, ist hauptsächlich Folge einer ungenauen und unübersichtlichen Präparationstechnik. Nicht nur die entzündlichen Verwachsungen im Gallenblasenbett sondern auch die konsekutiven, dissektionsbedingten Blutungen verschlechtern die Sicht und Orientierung und erschweren damit die weitere Präparation erheblich. Manche Autoren favorisieren in diesem Zusammenhang die videoendoskopisch-applizierte Fibrinklebung [22], andere schlagen vor zur Kontrolle auf Bluttrockenheit das Pneumoperitoneum kurzzeitig abzulassen [44].

Viel sinnvoller wäre aber doch, eine schichtgerechte, blutungsarme und übersichtliche Dissektionstechnik anzustreben und damit derartige Blutungen zu vermeiden.

Wie schon einmal in der Geschichte der Laparoskopie, nämlich bei der Entwicklung vom ehemals rein diagnostischen hin zum therapeutischen Verfahren, bedarf es der Einführung innovativer, praktikabler und sicherer Instrumente.

## Die Entwicklung der Wasserstrahldissektionstechnik (WSDT)

Versetzt man einen Wasserstrahl unter Hochdruck und formt diesen durch Düsen, erhält man ein wirkungsvolles Schneidinstrument. Durch Variation von Applikationsdruck, Düsendurchmesser und Düsenkonfiguration können auch härteste Materialien kalt, also ohne thermische Belastung geschnitten werden [8, 40, 46].

Diese Vorteile des Jet-cuttings werden schon lange, routinemäßig in der Industrie zum Durchtrennen von Metallen (Titan, Eisen), Nichtmetallen (Glas, Keramik, Holz), Textilien und sogar Nahrungsmitteln (Fisch, Huhn) genutzt.

Die zum präzisen Schneiden industrieller Werkstoffe benötigten Druckbereiche schwanken abhängig vom Material zwischen 1000-4000 bar [39].

Seit Beginn der achtziger Jahre werden die hydrodynamischen Wirkungen dieser Technologie auch in der medizinischen Anwendung untersucht und kontinuierlich verbessert: Gewebestrukturen unterschiedlicher Festigkeit und Elastizität werden selektiv voneinander separiert, abhängig von dem gewählten Applikationsdruck, dem Düsendurchmesser, der Düsenkonfiguration und der Temperatur des applizierten Strahls. So können die während des Schneid- bzw. Spülvorgangs sichtbar werdenden, anatomischen Strukturen (Arterien, Venen, Nerven) geschont oder unter Sicht sicher versorgt (Ligatur, Koagulation, Clip) und dann durchtrennt werden.

Papachristou und Barters setzten die Water-jet-Technologie erstmalig im Jahre 1982 zur Durchtrennung parenchymatöser Gewebe ein. Mit einem optimalen Arbeitsdruck von 40-55 bar führten sie 45 Lobektomien an Hunden und auch 4 Leberteilresektionen an Patienten durch [8, 37, 40]. Der Blutverlust konnte gering gehalten werden, die wesentlichen Strukturen ließen sich schon während des Schneidvorgangs identifizieren und anschließend selektiv durchtrennen. Allerdings zeigte sich eine deutliche Abnahme der Effektivität des Waterjetschneidens bei zirrhotisch veränderten Lebern [39].

Terzis berichtet von einer im gleichen Jahr veröffentlichten Untersuchung der Arbeitsgruppe Jessen et al. über den Einfluss von Hochdruckwasserstrahlen zur Zerstörung menschlicher Gallensteine in vitro. 1984 hätten die gleichen Autoren eine weitere Optimierung ihres Systems veröffentlicht: Bei einem Druckbereich von 16-27 Mpa läge die optimale Pulsdauer einer Wasserstrahleinheit bei 200 ms [53].

In der weiteren Entwicklung der WSDT hebt Terzis eine 1984 von Nishisaka und Yaukawa veröffentlichte Studie über die Optimierung der Schnittqualität beim Water-jet-cutting von Lebergewebe durch Variation von Druck (empfohlener Arbeitsdruck: 10 kp/cm<sup>2</sup>) und Düsenkonfiguration (0,2 mm) hervor [53].

Dass zur Desintegration menschlicher Harnleitersteine mithilfe von



Hochdruckwasserstrahlen lediglich niedrigere Druckwerte als zur Zerstörung von Gallensteinen erforderlich sind, untersuchten Aeikens et al. 1986 [53].

In den darauf folgenden Jahren bemühten sich einige Forschergruppen um die Verbesserung der Jet-Cutter-Technologie im Allgemeinen, um eine weitere Optimierung der Schnittqualität bzw. -selektivität und um einen erweiterten Einsatzbereich:

1987 setzte Bengmark den Water-Jet bei tierexperimentellen Untersuchungen zur Schnittselektivität bei Leberteilesektionen ein. Einer seiner Mitarbeiter, B. Persson, versuchte, durch den Zusatz von Norepinephrin (0,1 mg/100 ml) als Vasoadstringens zur Jet-Lösung eine Senkung der Blutung aus der Leberresektionsfläche zu erreichen [39].

1988 kam die Technik des kalten Schneidens zum Einsatz an der Niere (Schüller et al) und detaillierte Untersuchungen zum Water-Jet-Cutting an Hirngewebe wurden von Terzis et al. veröffentlicht [53].

Über die zu verwendenden Druckbereiche und Düsendurchmesser bzw. -konfigurationen gab es noch keinen einheitlichen Konsens.

1989 berichteten Une et al. über gute klinische Erfahrungen mit der Water-Jet-Technologie eingesetzt zur Leberresektion bei 36 Patienten. Bei einem Düsendurchmesser von 0,1 mm arbeiteten sie mit einem Druck von 60 bar [39, 54].

Mit vergleichbaren Werten arbeitete auch die Forschergruppe um Rau: im gleichen Jahr veröffentlichte er die Ergebnisse einer vergleichenden Studie zwischen Jet-Cutting und Ultraschallaspirator (dabei wird die Energie eines in Schwingungen versetzten Manipulatorstabes auf das umliegende Gewebe übertragen, das dadurch selektiv zertrümmert und anschließend abgesaugt wird). Rau kam zu dem Schluss, dass bei gleicher Schnittselektivität und identischen Blutverlust mit dem Water-Jet-Cutting eine signifikant schnellere Schnittgeschwindigkeit erreicht werden kann. Nachteilig für die Übersicht im Operationsfeld führte er die aufschäumende Jet-Lösung an und schlug zur Lösung des Problems die Installation einer integrierten Absaugung oder Änderungen der Lösungszusammensetzung vor [40].

Im Rahmen ihrer Veröffentlichungen bemühte sich die Forschergruppe um Rau auch um den Einsatz des Jet-Cuttings in der Tumorchirurgie unter Verwendung zytotoxischer Lösungen [40, 41].

Einen anderen Lösungsvorschlag lieferten Baer und Blumgart 1991: Das von ihnen u.a. bei 22 Leberresektionen und 6 intrahepatischen biliären Beipassoperationen [5] eingesetzte Hochdruck-Hochgeschwindigkeits-System, das bei einem Arbeitsdruck

von 200-600 bar einen divergenten Strahl bilde, der kein Aufschäumen der Jet-Lösung im Operationsfeld verursache, erlaube außerdem ein einfaches Arbeiten, da sich mit einer Distanzänderung von dem zu schneidenden Gewebe der Druck des Wasserstrahls und somit auch die Schnittqualität ändere [4].

Aber auch diese Generation von Wasserstrahl-Dissektoren konnte sich nicht durchsetzen.

In den folgenden Jahren wurde in Veröffentlichungen zum Thema Water-Jet-Cutting immer wieder auf die Vorteile dieser berührungsfreien, selektiven, kalten und damit gewebeschonenden Schnitttechnik hingewiesen [46].

Aber auch technische Schwierigkeiten wie z.B. eine nicht ausreichende Übersicht im OP-Gebiet, - einerseits durch Nebel, der sich an der Optik niederschlägt, andererseits durch Zelltrümmer bedingt - und ungenaue Schnitttiefen wurden bemängelt [8].

Durch technische Weiterentwicklung und permanente Innovation ist es nun aber gelungen, eine neue Generation von Wasserstrahl-Dissektoren zu konstruieren, die bei hoher Gewebeselektivität und - auch unter Abstandsveränderungen - hochpräziser Dissektionswirkung ein gewebeschonendes und durch den kontinuierlichen Spüleffekt v.a. übersichtliches Operieren ermöglichen - und das bei minimiertem Blutverlust und verkürzten Operationszeiten.

Schon in der Entwicklung der Hydro-Jet-Technik (HJ-Technik) herrschten Untersuchungen auf dem Gebiet der Leberchirurgie vor. Auch heute noch ist die Anwendung dieser Technik fast ausschließlich auf dieses Gebiet beschränkt. In der laparoskopischen Chirurgie existieren zurzeit, abgesehen von der laparoskopischen Leberresektion, keine Erfahrungen mit der Hydro-Jet-Technik.

## **ZIELSETZUNG**

Unser Ziel war einerseits die Entwicklung und Evaluierung der laparoskopischen Cholecystektomie in Hydro-Jet-Technik.

Unser Ziel bestand andererseits darin, nach einem ausführlichen Literaturüberblick über mögliche Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie, die intraoperativen Komplikationen detailliert zu untersuchen; dazu führten wir eine retrospektive Studie durch, im Rahmen derer anhand von Operationsberichten das Spektrum intraoperativer Komplikationen der in den Jahren 1996-1999 in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien erfasst wurde.

Es stellten sich folgende, konkrete Fragen:

- welcher Gestalt sind Spektrum und Rate der intraoperativen Komplikationen?
- lassen sich methodenspezifische Komplikationen isolieren?

- gibt es Hinweise auf Ursachen möglicher methodenspezifischer Komplikationen?
- ist eine schichtgerechte Präparation mit unserer HJ-Technik möglich?
- lässt sich der Blutverlust bei diesem Eingriff durch die Anwendung der HJ-Technik verringern?
- bringt die Anwendung dieser neuen Technik Vorteile - auch im Hinblick auf das Spektrum intraoperativer Komplikationen -, wenn ja welche?
- birgt die Anwendung der HJ-Technik neue Gefahren?

Vor Studienbeginn wurden an unmittelbar post mortem entnommenen anatomischen Leberpräparaten (Schwein) erste in-vitro-Cholecystektomien durchgeführt, um die Präparation in Wasserstrahldissektionstechnik zu erproben und den optimalen Arbeitsdruck festzulegen.

Es zeigte sich, dass die Gallenblase sich mit dem Hydro-Jet sehr einfach, stumpf aus dem Leberbett heraus präparieren ließ. Die Gallenblasenwand und auch das Leberbett blieben sowohl makroskopisch als auch histologisch unversehrt.

## **MATERIAL UND METHODEN**

### **Retrospektive Studie**

Nach einem ausführlichen Literaturüberblick über mögliche Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie wurden über Patientenlisten alle in unserer Klinik durchgeführten Cholecystektomien der Jahre 1996 - 1999 erfasst. Anhand der Operationsberichte wurden dann Spektrum und Rate der intraoperativen Komplikationen bei den in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien untersucht.

Die Datenverarbeitung erfolgte an einem Intel Pentium-III-prozessor, die Tabellen wurden mithilfe von Excel, die Abbildungen mithilfe von Powerpoint erstellt.

### **Experimentelle Studie**

Hydro-Jet-Dissektor (technische Daten):

Technische Grundlage der heute verfügbaren Hydro-Jet-Dissektoren ist folgendes Prinzip: Die potentielle Energie einer - mithilfe einer Pumpe - unter Hochdruck versetzten also komprimierten Flüssigkeit wird an der Applikatordüse umgewandelt in kinetische Energie. Abhängig von Flüssigkeitsdruck bzw. Austrittsgeschwindigkeit und der durch die Düsenkonfiguration bestimmten Ausflusszahl entsteht ein kompakter Flüssigkeitsstrahl, der sich mit zunehmender Entfernung in einzelne Flüssigkeitsballen und dann Tropfen zerlegt. Nur im kontinuierlichen, kohärenten Strahlbereich bleibt die Axialgeschwindigkeit und mit

ihr auch die Schnittqualität konstant, im tropfenförmigen Bereich verringert sie sich, bis sie im Auflösungsbereich abrupt absinkt [39].

Für unsere Studie wurde der „Hydro-Jet“ der Firma Andreas Pein Medizintechnik, Schwerin verwendet (Abb.1). Er ist das Produkt kommerzieller Weiterentwicklung der bisher vor allem in der Leberchirurgie genutzten Geräte.



**Abb. 1 Hydro-Jet-Dissektor „Müritz 1000“  
der Firma „Andreas Pein Medizintechnik“, Schwerin**

Die gewünschten Funktionen und Parameter können durch Fingerdruck auf entsprechende Symbole des Infrarot-Touchscreen Displays gewählt werden. Ein Mediumwandler mit elektronisch gesteuerter Hydraulik erzeugt in einem Druckbereich von 0-150 bar die gewünschten Wasserdruckwerte mit einer Druckgenauigkeit von 0,5 bar, die sich stufenlos in 1 und 5 bar Schritten einstellen lassen. Der Wasserstahldruck ist dann über ein Fußpedal von 0 bar bis zum vorher bestimmten maximalen Arbeitsdruck abrufbar.

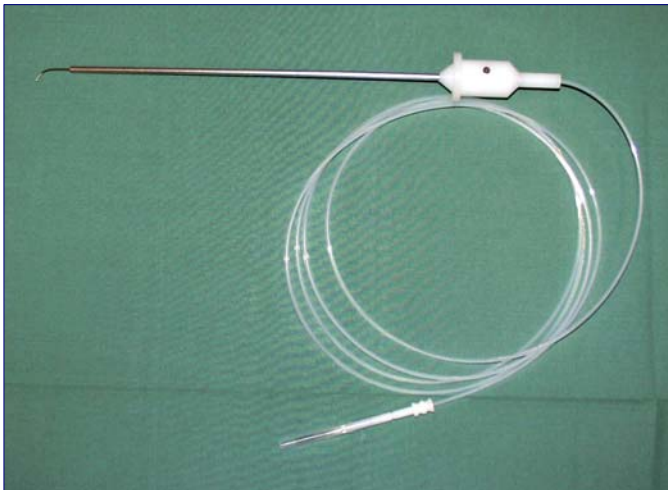
So entsteht je nach Druck ein mindestens 5 cm bis ca. 30 cm langer, kohärenter, zylindrischer Strahl, an der Oberfläche schraubenartig gedreht, mit einem Durchmesser von 120  $\mu\text{m}$ . Aktueller Druckwert und Kartuscheninhalt ( maximal 1000 ml ) werden kontinuierlich angezeigt.

Bei Bedarf zusätzlich ein Thermoapplikator, der Temperaturen bis zu 85°C erreicht, zur Koagulation eingesetzt werden.

Operationshandstücke in verschiedenen Ausformungen für offene und mikrochirurgische Anwendungen mit Düsendurchmessern bis zu 120  $\mu\text{m}$  mit integrierter Absaugung oder ohne sind verfügbar (Tab. 1).

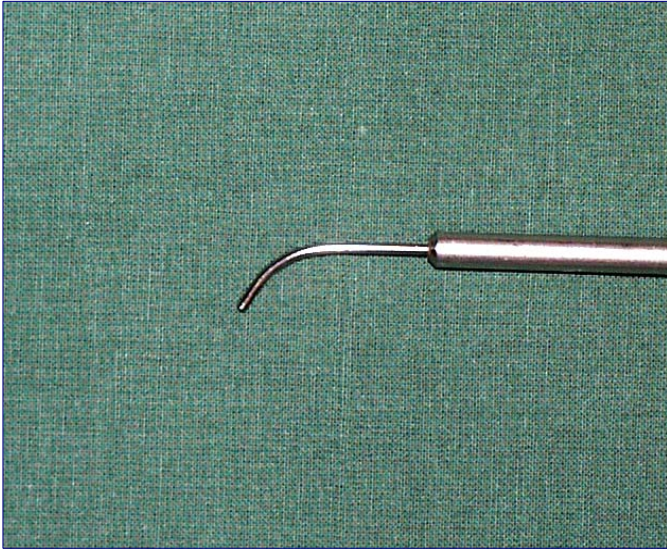
In Zusammenarbeit mit der Firma „Andreas Pein Medizintechnik“ wurde in unserer Klinik eine neue Präparationstechnik sowie ein neuer, speziell für die laparoskopische Cholecystektomie geeigneter HJ-Dissektor entwickelt, der nachfolgend „Sonde“ genannt wird und im Rahmen der tierexperimentellen Studie zur Anwendung kam. Diese Sonde mit einem Innendurchmesser von 120  $\mu\text{m}$  ist an ihrer Spitze in einen Bogenwinkel von 70° gebogen und eignet sich dadurch hervorragend nicht nur als Hydro-Jet-Düse sondern auch als stumpfes mechanisches Präparierinstrument (Abb. 2, 3).

Als Trennmedium wurde physiologische Kochsalzlösung verwendet mit einer Applikationstemperatur von 20 - 22°C. Der maximale Arbeitsdruck betrug 30 bar.



**Abb. 2 HJ-Dissektor**

**Innendurchmesser 120  $\mu\text{m}$ , Bogenwinkel 70°**



**Abb. 3 HJ-Dissektor  
mechanisches Präparierinstrument und Hydro-Jet-Düse**

Tiere:

Die Technik wurde an 30 Schweinen mit einem Gewicht von 16 bis 27 kg im Rahmen der Demonstrationsoperationen angewandt.

Die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes des Landes Schleswig - Holstein wurden eingehalten.

Aktenzeichen und Datum der Stellungnahme der Ethikkommission:

Kiel X 330A 72241.122-7 vom 27.02.1998,

Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten

Anästhesie:

Das Schwein wurde zunächst durch intramuskuläre Injektion von Ketamin (20 mg/kg Körpergewicht), Rompun® (1 ml) oder Dormicum® (2,5 mg) und Atropin (0,5 mg) analgosediert.

Nach Positionierung in Rückenlage und Fixation der Extremitäten auf dem Operationstisch erfolgte die Anlage eines peripher-venösen Zugangs.

Anschließend folgten die Tracheotomie, Intubation der Trachea, die maschinelle Beatmung und die Narkose mit Sauerstoff-Halothan-Lachgas-Gemisch.

Ein kontinuierliches kardiales Monitoring (Herzfrequenz, Elektrokardiogramm, Sauerstoffsättigung) wurde bei allen Operationen durchgeführt (Tab. 2).

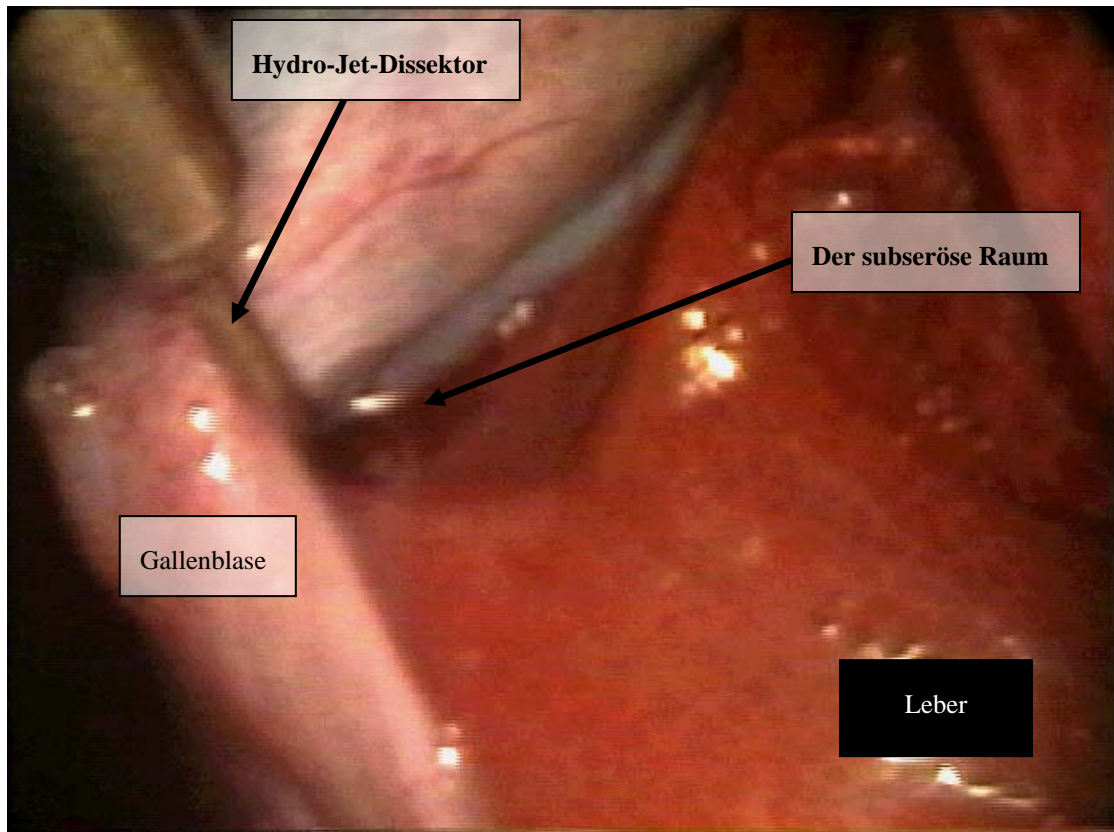
Operationsablauf:

nach folgendem Schema wurden alle Eingriffe standardisiert durchgeführt:

- Erzeugung des Pneumoperitoneums mit Hilfe der Veressnadel bis zu einem intraabdominellen Druck von 13 mm Hg.
- Einbringen des Optiktrocars subumbilikal, Einführen der Kameraoptik und Inspektion des Abdomens.
- Plazierung von drei weiteren Trokaren: subxiphoidal (10 mm), im rechten und linken Abdomen pararektal (5 mm) unter Sicht.
- Anheben der Gallenblase (GB) nach cranioventral und Fixation der GB in dieser Position mit der Gallenblasen-Fasszange.
- Einführen der HJ-Sonde in die subseröse Schicht im Übergangsbereich GB-Infundibulum / Ductus cysticusstumpf oder nach kleiner Inzision der Serosa durch die HJ-Sonde.
- Applikation von Wasser in den subserösen Raum mit einem maximalen Arbeitsdruck von 30 bar sowohl retrograd zum Fundus hin, als auch antegrad entlang des Ductus cysticus. Dies führt zu einer Expansion des subserösen Raumes mit konsekutiver Erweiterung der interstrukturellen Spalträume. Ein Wasserpolster zwischen GB und Leberbett entsteht (Abb. 4).
- Dissektion der Serosa ausgehend von diesem Punkt entlang des Ductus cysticus sowie am lateralen und medialen Rand der GB durch den HJ-strahl und stumpf-mechanisch mithilfe der HJ-Sonde.
- Darstellen, Unterfahren und stumpfe Präparation des D. cysticus mit der gebogenen Sonde.
- Koagulation des Ductus cysticus (eine Applikation von Clips wäre zu teuer und für unsere Fragestellung irrelevant) und Durchtrennung des D. cysticus mit einer Schere. Bei einem auf 30 bar limitierten Arbeitsdruck gelingt die Durchtrennung des D. cysticus mit dem HJ-Dissektor nicht.
- Darstellen, Unterfahren und Freipräparation der A. cystica mit der gebogenen Sonde.
- Koagulation der A. cystica (Einsparung der Clips aus Kostengründen) und Durchtrennung mit der Schere. Mit dem HJ-Dissektor gelingt die Durchtrennung der A. cystica bei dem gewählten Arbeitsdruck nicht.
- Im letzten Schritt wird die GB retrograd aus dem GB-Bett in HJ-Technik herauspräpariert. Dabei kommt es zu einem Wechsel der Präparationsmanöver, nämlich der Applikation von Wasser in den subserösen bzw. subvesicalen Raum, der eigentlichen HJ-Dissektion und der stumpf-mechanischen Präparation (Abb. 5) Die seitlichen Serosazüge sind hierbei mit dem Hydro-Jet infolge Zug und Druckspannungen leicht zu schneiden. Einzelne subseröse und subvesicale Gefäße und narbige Züge bleiben hierbei unversehrt und können selektiv koaguliert und mit der Schere getrennt werden.
- Die abschließende Kontrolle des Leberbettes auf Bluttrockenheit und die Entfernung der Gallenblase aus dem Bauchraum beenden das operative Procedere.

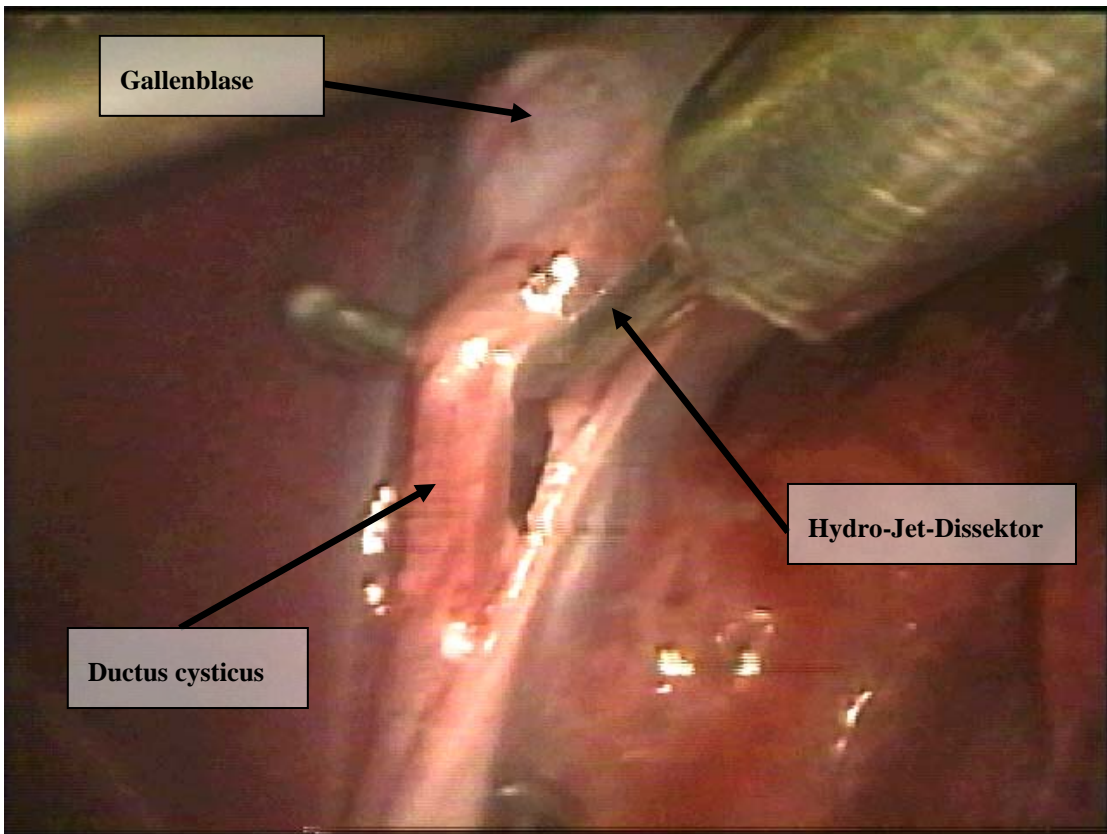
Am Ende der Operation wurde das Tier durch intravenöse Injektion eines in der Veterinärmedizin zur Euthanasie genutzten Kombinationspräparates ( T-61® von Intervet, bestehend aus 200 mg Embutramid, 50 mg Mebezonium und 5 mg Tetracain je ml ) getötet.

Alle durchgeführten Eingriffe wurden auf Videoband dokumentiert.



**Abb. 4 Applikation des Jet-Wassers in den subserösen Raum mit konsekutiver Gewebeexpansion in diesem Spaltraum.**





**Abb. 5 Stumpfe Dissektion durch mechanische Präparation mit der HJ-Sonde**

## ERGEBNISSE

### Retrospektive Studie

In der chirurgischen Klinik der Medizinischen Universität Lübeck wurden in den Jahren 1996-1999 **962** Cholecystektomien durchgeführt, davon **736** also **76.5%** in laparoskopischer Technik. Bei insgesamt **29** Cholecystektomien war ein Umsteigen von der laparoskopischen zur offenen Methode erforderlich: Konversionsrate von **3.94%** (Tab. 3).

	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
Patientenzahl	178	181	204	173
<b>VERLETZUNGEN</b> bei Trokareinstich	4 2.2%	1 0.5%	1 0.5%	/
Leber	1 0.5%	1 0.5%	1 0.5%	/
<b>BLUTUNGEN</b>	4 2.2%	4 2.1%	3 1.5%	3 1.6%
Leberbett	1 0.6%	2 1.1%	3 1.5%	2 1.1%
A. cystica	2 1.2%	1 0.5%	/	/
Trokareinstich	1 0.6%	1 0.5%	/	1 0.6%
<b>PERFORATIONEN</b>	53 29.7%	61 33.6%	62 30.4%	47 27.2%
ohne Steinverlust	38 21.3%	30 16.6%	34 16.6%	23 13.3%
Mit Steinverlust	10 5.5%	14 7.7%	15 7.4%	14 8.1%
dislozierter Clip	3 1.7%	11 6.1%	6 2.9%	2 1.2%
Ductus choledochus	1 0.5%	4 2.1%	3 1.5%	5 2.9%
akzess. Gallengang	1 0.5%	2 1.1%	4 1.9%	3 1.7%
<b>PRÄPARATION</b> Nicht schichtgerecht	12 6.6%	32 17.6%	34 16.6%	18 10.3%
<b>VERLETZUNGEN</b> Leber	1 0.5%	1 0.5%	5 2.4%	1 0.6%
Konversionen	4 2%	9 4%	10 4%	6 3%

**Tab.3: Intraoperative Komplikationen bei in laparoskopischer Technik durchgeführter Cholecystektomie, eine retrospektive Studie aus der chirurgischen Klinik des UK-SH Campus Lübeck**

Das Spektrum der intraoperativ aufgetretenen Komplikationen schließt mit ein:

- **Verletzungen bei Trokareinstich** an Dünndarm bzw. Leber
- **Blutungen** aus dem Leberbett, aus der A. cystica oder aus dem Trokareinstich
- **Perforationen** der Gallenblase bzw. des Ductus choledochus sowie Austritt von Galleflüssigkeit durch dislozierte Clips oder Eröffnungen akzessorischer Gallengänge
- **Nicht schichtgerechte Präparation** der Gallenblase.
- **Verletzungen der Leber** im Rahmen der Präparation.

Bei insgesamt 6 Cholecystektomien also in **0.8%** ergaben sich Komplikationen durch **Verletzungen** von Dünndarm oder Leber beim **Trokareinstich**.

Die Rate der Dünndarmverletzungen (0-1.7%) lag im Mittel der vier beobachteten Jahre bei **0.4%**, die der Leberverletzungen (0-0.5%) im Mittel bei **0.4%**.

**Blutungen** komplizierten insgesamt 14 also im Mittel **1.8%** der laparoskopisch durchgeführten Cholecystektomien:

Die Komplikationsrate der Blutungen aus dem Leberbett (0.6-1.5%) lag im Mittel bei **1.2%**, die der Blutungen aus der A. cystica (0-1.2%) im Mittel bei **0.3%** und die der Blutungen aus dem Trokareinstich (0-0.6%) im Mittel ebenfalls bei **0.3%**.

Zu den **Perforationen** zählen Komplikationen, die zur Eröffnung von Gallenblase, Ductus choledochus oder akzessorischen Gallengängen geführt haben und damit verbunden sind mit einem möglichen Austritt von Galleflüssigkeit bzw. potentiell Steinverlust.

Solche Komplikationen traten bei insgesamt 223 Cholecystektomien auf, die prozentuale Rate (27.2-33.6%) lag im Mittel bei **30%**.

Perforationen der Gallenblase ohne Steinverlust zeigten sich in einer mittleren Häufigkeit von **16.9%** (13.3-21.1%). Die Komplikationsrate für Perforationen mit Steinverlust lag im Mittel bei **7.2%** (5.5-8.1%). Der Austritt von Galleflüssigkeit bedingt durch sekundär dislozierte Clips trat als Komplikation in einer mittleren Rate von **2.8%** (1.2-6.1%) auf.

Zu Verletzungen des Ductus choledochus kam es in einer mittleren Häufigkeit von **1.7%** (0.5-2.9%).

Die Eröffnung akzessorischer Gallengänge komplizierte 10 der in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien, das entspricht einer mittleren Komplikationsrate von **1.3%** (0.5-1.9%).

Die Präparation der Gallenblase aus dem Leberbett konnte bei 96 der Cholecystektomien nicht in der idealen Schicht durchgeführt werden. Daraus ergibt sich eine mittlere Rate **nicht schichtgerechter Präparation** von **12.8%** (6.6-17.6%).

Zu **Verletzungen der Leber** im Rahmen der Präparation kam es in 8 Fällen, also in

einer mittleren Häufigkeit von **1%** (0.5-2.4%).

Einen Überblick über die Ergebnisse der noch vor der retrospektiven Studie durchgeführten, ausführlichen Literaturanalyse über die Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie bietet die Tabelle 4, in der elf prägnante Studien (ohne die Lübecker Studie) zusammengefasst sind.

### **Experimentelle Studie**

Bei der Präparation im Gewebe zeigt der HJ-Strahl spezifische Eigenschaften, die eine schonende, sehr übersichtliche und v.a. atraumatische Operationstechnik ermöglichen. Diesen atraumatischen Charakter der Operationsmethode unterstützt auch die stumpf-mechanische Präparation mit der gebogenen HJ-Sonde.

In der Präparationstechnik zeigten sich drei hervorzuhebende Merkmale:

1. Durch die Applikation des Wasserstrahls in den subvesicalen und subserösen Raum kommt es zu einer Expansion dieses Spaltraumes, es bildet sich ein Wasserpolster zwischen den angrenzenden Schichten. Konsekutiv nimmt der Abstand zwischen den unterschiedlichen Strukturen, wie Gefäßen, Nerven, bindegewebigen und narbigen Strängen zu (Abb. 4). Diese Strukturen werden durch den Wasserstrahl soweit frei präpariert, dass sie eindeutig identifiziert, selektiv unterbunden und durchtrennt werden können. Dies wiederum führt zu einer erheblichen Erleichterung der Präparation und damit zu einer bedeutenden Steigerung der Präparationssicherheit (Abb. 6, 7).
2. Die Gewebeselektivität des HJ-Strahls vereinfacht die scharfe Präparation im Gewebe. Die weicheren Gewebe (Fett- und Bindegewebe) des subvesicalen und subserösen Raumes werden durch den Wasserstrahl verdrängt, wichtige Strukturen wie Blut- und Gallengefäße sowie Nerven bleiben dabei unversehrt. Das Wasser wühlt sich um die Gefäßzirkumferenz und befreit das Gefäß vom Fett- bzw. Bindegewebe, ohne es zu verletzen (Abb. 8).

## Anatomie des subserösen Raums

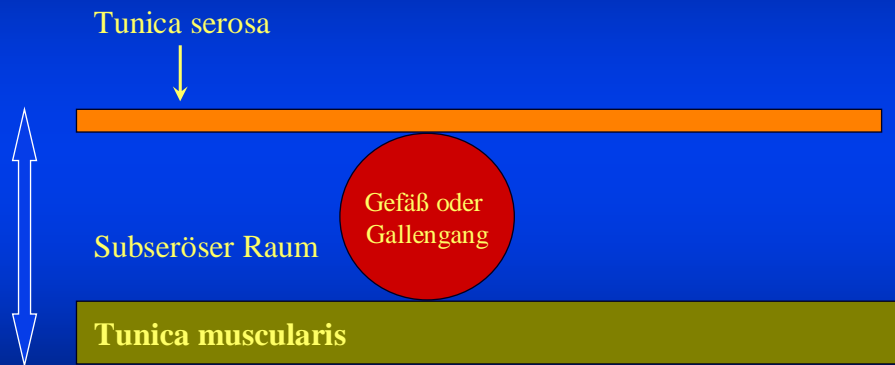


Abb. 6 Anatomie des subserösen Raums

## Gewebeexpansion: Applikation vom Jet-Wasser in den subserösen Raum

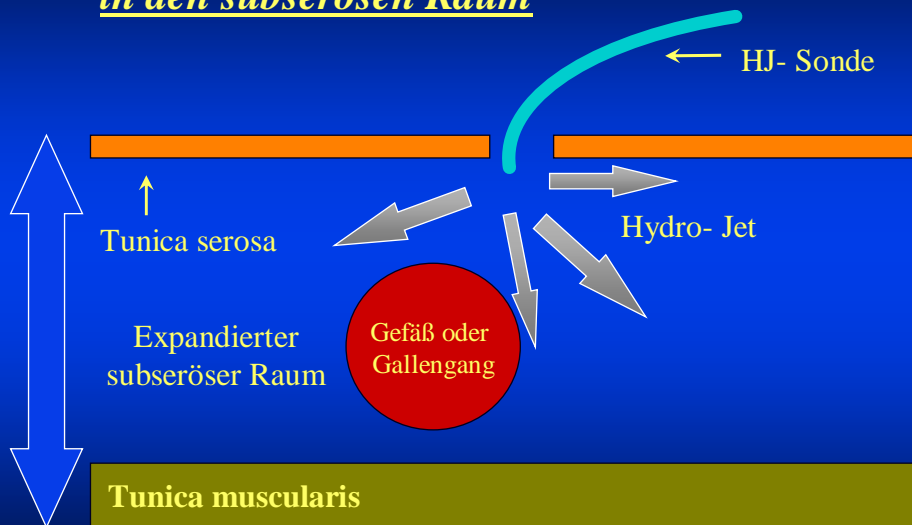
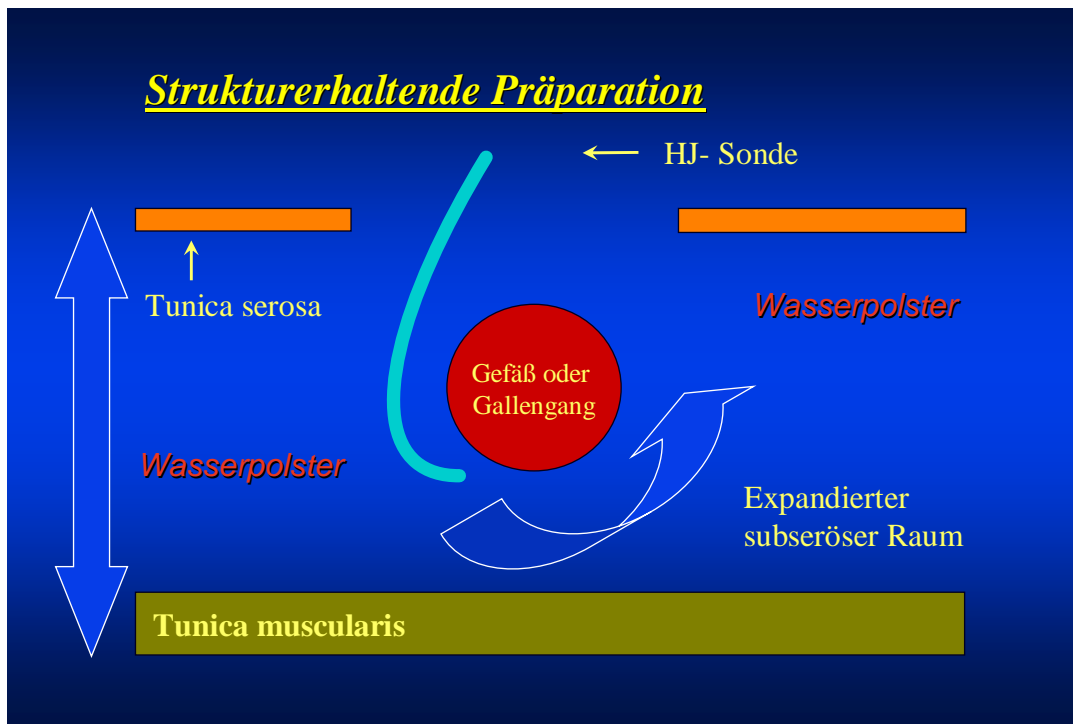


Abb. 7 Gewebeexpansion: Applikation vom Jet-Wasser in den subserösen Raum



**Abb. 8 Strukturhaltende Präparation**

3. Die gebogene HJ-Sonde ermöglicht eine absolut atraumatische, stumpfmechanische Präparation der Gewebe und eine optimale Um- und Unterfahrung der Gefäße und anderer wichtiger Strukturen, die anschließend selektiv versorgt werden können (Abb. 5).

In der von uns beschriebenen Operationsmethode, der Kombination der hydrodynamischen Eigenschaften des HJ-Strahls mit der mechanischen Dissektion durch die gebogene HJ-Sonde, lässt sich die Gallenblase praktisch ohne scharfe Präparation mit der Schere vollständig aus dem Leberbett herauslösen. Dank dieser atraumatischen Operationstechnik ist das OP-Gebiet während der gesamten OP-Zeit nahezu blutfrei. Außerdem sorgt die kontinuierliche Spülung durch den Wasserstrahl für eine klare Sicht im Operationsfeld - ein angenehmer Nebeneffekt der HJ-Technik.

Nach der Entfernung der Gallenblase aus dem Bauchraum ist die viscerale Leberfläche als eine glatte, saubere und blutungsfreie Oberfläche sichtbar. Eine abschließende Blutstillung erübrigt sich fast immer.

Die mittlere Operationsdauer vom Beginn der Trocarplatzierung bis zur Entnahme des Organs betrug 28 Minuten.

Der Wasserverbrauch für die laparoskopische Cholecystektomie lag bei einem maximalen Arbeitsdruck von 30 bar im Durchschnitt bei 195 ml NaCl 0.9%.

## DISKUSSION

Seit der ersten Cholecystektomie durch das Laparoskop 1985 in Böblingen [31] hat sich die elegante, microinvasive Operationsmethode zum Standardverfahren etabliert. Mit der raschen Entwicklung der laparoskopischen Microchirurgie - Ärzte und Patienten waren begeistert von Vorteilen wie verkürzten Krankenhausaufenthalten, geringerem Wundschmerz und schnellerer Rehabilitation - wurden an die Operateure vollkommen neue Anforderungen gestellt: Die chirurgische Arbeit, bei der die Hände zur feinfühligsten Präparation und sicheren Befunderhebung immer eine große Rolle gespielt hatten, erfolgte nun - mit Blick auf den zweidimensionalen Bildschirm - mittels spezieller Instrumente. Den technischen und methodischen Neuentwicklungen im letzten Jahrzehnt sind die rasanten Fortschritte in der laparoskopischen Chirurgie zu verdanken. Es bestehen aber auch heute noch viele ungelöste Probleme.

Bis zu 90% aller Cholecystektomien werden heutzutage in laparoskopischer Technik durchgeführt [18]. Auch wenn sich in multizentrischen, retrospektiven Studien gezeigt hat, dass bei laparoskopischen Cholecystektomien die Mortalitäts- und Komplikationsraten geringer sind als bei der konventionellen Methode [15], so ist dieses Verfahren dennoch mit Komplikationen bis zu 12,8% behaftet [45].

Aus der veränderten operativen Vorgehensweise lässt sich verstehen, dass sich das Komplikationsspektrum der laparoskopischen Cholecystektomien von den in konventioneller Technik durchgeführten Gallenblasenentfernungen unterscheidet.

In Anlehnung an das operative Vorgehen lassen sich die Komplikationen nach folgenden Kriterien unterteilen:

1. Komplikationen, die aus Nadel-bzw. Trokarinsertion resultieren
2. Komplikationen als Folge der Erstellung des Pneumoperitoneums
3. Komplikationen bedingt durch das operative Vorgehen  
(Instrumenteninsertion und -manipulation).

Zur besseren Übersicht werden in der folgenden, vergleichenden Diskussion die Ergebnisse der in unserer Klinik durchgeführten retrospektiven Studie in stärkerem Schrifttyp gedruckt und damit deutlich von den aus der Literaturanalyse gewonnenen Daten abgrenzbar. Die Bandbreite der Komplikationsraten aus den ausgewählten, repräsentativen Studien wird - jeweils in kleinerem Schrifttyp und in Klammern gesetzt - gegenübergestellt.

### **1. Komplikationen, die aus Nadel-bzw. Trokarinsertion resultieren**

Die Gesamtkomplikationsrate für Verletzungen durch Nadel- und Trokarinsertion bei laparoskopisch durchgeführten Operationen liegt bei 1.02% [16]. Bei der in unserer

Klinik durchgeführten Studie ergab sich mit **1.3%** eine geringgradig höhere Rate derartiger Verletzungen.

Die Gesamtkomplikationsrate beinhaltet:

- Verletzungen der Bauchwand (Blutungen/Hernien) 0.52%
- Verletzungen im Abdomen (Gefäße/Intestinalorgane) 0.14% und
- die Komplikation der extraperitonealen Insufflation 0.36%.

Den größten Anteil nehmen mit 0.46% die Blutungen aus den Trokareinstichstellen ein. Die eigenen Ergebnisse für diese Komplikation liegen mit etwa **0.3%** etwas niedriger. Sie resultieren meist aus den Vasa epigastrica superficialis, Vasa epigastrica inf. oder aus den die Muskulatur versorgenden Gefäßen. Das Risiko solcher Blutungen lässt sich durch die von Hasson 1974 [16, 17] eingeführte Technik der „offenen“ Laparoskopie oder auch durch Inspektion und Transillumination der Bauchwand vor Trokarplatzierung minimieren.

Die Inzidenz der Entstehung von Hernien nach laparoskopischen Operationen, eine Komplikation, die wir im Rahmen unserer Studie über die intraoperativen Komplikationen nicht berücksichtigten, nehmen mit 0,06% (0.01-0.8% s.Tabelle 4) den kleineren Teil ein. Die Verwendung englumiger Trokare (5mm) und auch der sorgfältige Fascienverschluss reduzieren dieses Risiko. Manche Autoren bevorzugen in diesem Zusammenhang die sog. Micropunktionstechnik, bei der Trokare mit einem Durchmesser von 3mm zum Einsatz kommen oder favorisieren eine Operationstechnik, die über lediglich 2 Trokare ausgeführt wird. Klare anatomische Verhältnisse sind allerdings die Voraussetzung für die Anwendung dieser alternativen Operationsmethoden [9, 26, 50, 55].

Sowohl die Verletzungen an intra- und retroperitonealen Gefäßen - Komplikationsrate von 0.07% (0.04-0.6% s. Tabelle 4) - als auch die Läsionen am Gastrointestinaltrakt, sie treten in einer Häufigkeit von 0.07% (0.05-0.4% s. Tabelle 4) auf, werden begünstigt durch unzureichende Gasfüllung des Abdomens bei nicht ausreichend relaxierten Patienten und durch straffe, muskulöse und flache Bauchdecken bei jungen Patienten. In beiden Fällen ist zur Trokarplatzierung ein erhöhter Kraftaufwand bei geringer Distanz zwischen Bauchdecke und Retroperitoneum notwendig [48]. So kann es zu massiven Verletzungen an Intestinalorganen und an intra- und retroperitonealen Gefäßen kommen.

Im Rahmen unserer Studie komplizierten Verletzungen an intraperitonealen Gefäßen (A. cystica) und Läsionen am Gastrointestinaltrakt (Jejunum/Duodenum) je **0.3%** der in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien. Diese Komplikationsraten sind durchaus vergleichbar mit den aus der Literaturanalyse gewonnenen Daten. Die Mortalitätsraten für solche Verletzungen liegen zwischen 5% für Läsionen an Intestinalorganen und 9% für Läsionen an retroperitonealen Gefäßen (Aorta, A. iliaca, V. cava inf.) [16].



Auch bei ausreichender Gasfüllung des Abdomens kann es zu perforierenden Verletzungen an adhärennten Darmschlingen kommen. Allerdings lässt sich diese Gefahr vermindern, indem eine Probepunktion an der vorgesehenen Stelle vorgenommen wird [48].

Generell besteht - bedingt durch den Zugang - bei laparoskopischen Operationen die Notwendigkeit einer ausgedehnten Adhäsioolyse häufiger als bei der konventionellen Methode. Solche Adhäsioolysen können zu weiteren Komplikationen führen [27]. In Als Folge derartiger Adhäsioolysen sind in der Literatur u.a. Blutungen, direkte Colonläsionen und indirekte Läsionen an Intestinalorganen durch den Einsatz der monopularen Diathermie beschrieben [14].

Extraperitoneale Insufflation, eine mögliche Komplikation bei fehlplazierter Nadel, mit konsekutiver Ausbildung eines subcutanen Emphysems tritt mit einer Häufigkeit von 0.36% (0-0.36% s. Tabelle 4) bei laparoskopischen Operationen auf. Bei den in unserer Klinik durchgeführten Cholecystektomien konnten wir diese Komplikation nicht beobachten. Eine Therapie dieser Komplikation ist nur in seltenen Fällen notwendig [16].

## **2. Komplikationen als Folge der Erstellung des Pneumoperitoneums**

Die Gesamtrate der aus der Literatur bekannten Komplikationen, die durch die Erstellung des Pneumoperitoneums bedingt sind, liegt zwischen 0-0.48% [16]:

In einer Häufigkeit von bis zu 0.36% bilden sich bei laparoskopischen Eingriffen Emphyseme aus. Auch Schmerzen in der rechten Schulter oder im Rücken sind durch das Pneumoperitoneum bedingt (Inzidenz von 0.04%). Zur Entwicklung eines Pneumothorax kommt es in bis zu 0.03% der Fälle -in Studien mit allerdings kleinerer Fallzahl werden sogar Inzidenzen bis zu 0.4% beschrieben [45]-.

Mit einer Häufigkeitsrate von 0.02% zählt die Hyperkapnie zu den selteneren Komplikationen. Allerdings können sich bei Patienten, die unter chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen leiden, im Rahmen von laparoskopischen Operationen durch die transperitoneale Absorption von Kohlendioxid lebensbedrohliche Hyperkapnien entwickeln [20]. In diesem Zusammenhang sind auch pulmonale Infarkte (0.01%) beschrieben worden [16]. Dennoch konnten prospektive randomisierte Studien zeigen, dass die laparoskopische Cholecystektomie im Vergleich zur Cholecystektomie durch die obere Mittellinieninzision zu einer geringgradigeren Minderung der Lungenfunktion - gemessen u.a. an Spirometrie und art. Blutgasanalyse - führt [7].

Auch zu vagalen Reaktionen und Herzrhythmusstörungen kann es in seltenen Fällen (0.01%) kommen. Daher gelten schwere pulmonale, sowie schwere kardiale Insuffizienzen als Kontraindikationen für laparoskopische Eingriffe [16].

Das Risiko einer Kohlendioxidgasembolie ist zwar aufgrund der guten Lösungseigenschaften von CO<sub>2</sub> im Blut gering - sogar bei systemischer venöser Insufflation dieses Gases mit einem flow von maximal 1l/min kommt es nicht zur Ausbildung von Gasblasen [20] -: die Komplikationsrate liegt bei 0.01% (0.002-0.016%), zählt aber zu den gefährlicheren Zwischenfällen. Solche Gasembolien können z.B. durch eröffnete Lebervenen im Leberbett induziert werden [16].

Da die Inzidenz einiger der genannten Komplikationen (u.a. Hyperkapnie, kardiovaskuläre Zwischenfälle) mit dem gewählten intraabdominellen CO<sub>2</sub>-Druck korreliert, sollte jeweils der geringstmögliche Wert angestrebt werden. Als maximale Obergrenze gilt ein Druckwert von 12-15 mmHg [16].

Im Rahmen der von uns durchgeführten Studie kam es bei keinem der 736 laparoskopisch cholecystektomierten Patienten zur Ausbildung eines Emphysems oder zur Entwicklung eines Pneumothorax. Die übrigen der oben genannten Komplikationen, die infolge der Erstellung des Pneumoperitoneums auftreten können, konnten bei unserer Untersuchung anhand von Operationsberichten nicht erfasst werden.

### **3. Komplikationen bedingt durch das operative Vorgehen (Instrumenteninsertion und -manipulation)**

Bezogen auf die Technik der laparoskopischen Cholecystektomie ist wohl die iatrogene Gallengangläsion eine der schwerwiegendsten und für den Patienten folgenreichsten Komplikationen. Auch wenn die Inzidenz solcher Verletzungen mit zunehmender Erfahrung der Chirurgen sinkt - das haben multizentrische retrospektive Studien anhand von Lernkurven gezeigt [18] - und Komplikationsraten von bis zu 7% [13] heute als überholt gelten, liegt das Risiko für biliäre Läsionen bei laparoskopischer Methode immer noch 2-bis3-fach höher als bei in konventioneller Technik durchgeführten Cholecystektomien [49]. Bei genauerer Analyse solcher Lernkurven fällt auf, dass etwa 1/3 der Gallengangsverletzungen nicht auf mangelnde Erfahrung des Chirurgen zurückgeführt werden können, sondern die Folge sind von operationstechnischen Problemen: bei schwieriger Dissektion im Chalot'schen Dreieck z.B. bei Blutungen oder Cholecystitis ist eine sichere Identifikation der anatomischen Leitstrukturen oft nicht möglich. Gerade unter derartigen Präparationsverhältnissen kommt es gehäuft zu iatrogenen Gallengangläsionen [1].

In aktuellen Studien mit hohen Fallzahlen wird das Risiko für iatrogene Gallengangsverletzung bei laparoskopischer Cholecystektomie mit 0.3-0.8% angegeben [49] (0.07-2.9% s. Tabelle 4). Allerdings hat die Einführung der laparoskopischen Cholecystektomie nicht nur zu einer höheren Inzidenz biliärer Läsionen, sondern auch zu einem Typenwandel der Gallengangsverletzungen geführt [49].

Das Klassifikationsschema von Siewert et al. [49] unterscheidet vier mögliche Schädigungsformen des Gallengangsystems voneinander unter Berücksichtigung der Art der Läsion (z.B. Striktur, Resektion, Läsion des Gallengangs):

Die schwerste Form der Schädigung ist die Defektläsion (Typ 4) mit (4a) oder ohne (4b) Gefäßläsion. Der Typ 3 beinhaltet tangentielle Verletzungen ohne Defekt (3a mit Gefäßläsion, 3b ohne Gefäßläsion). Spätstrikturen des Ductus hepatocholedochus ohne intraoperativ offensichtliches Trauma entsprechen dem Typ 2. Der Typ 1 umfasst postoperative Gallenfisteln wie z.B. Cysticus-Stumpfsuffizienz, akzessorische Gallengänge [32, 49].

Anhand dieses Schemas kann nun das Ausmaß der jeweiligen Läsion und die Schwere des daraus resultierenden chirurgischen Problems abgeschätzt werden. Während bei konventionell durchgeführten Cholecystektomien neben Gallengangstrikturen - infolge unkontrollierter Umstechung bei Blutung im Bereich des Lig. hepatoduodenale [14] - Gallengangsläsionen vom Typ 3 (Tangentiale Verletzungen ohne Defekt) deutlich überwiegen, kommt es im Rahmen laparoskopischer Cholecystektomien bemerkenswert häufig zu Schädigungen des Gallengangsystems, die dem Typ 4 zuzuordnen sind. Inzwischen wird diese Form der Defektläsion, die eine sehr anspruchsvolle operative Therapie (biliodigestive Anastomose) nach sich zieht, als typisch für die laparoskopische Methode angesehen [49].

Aus der operativen Technik lässt sich die hohe Inzidenz dieser Komplikation folgendermaßen erklären. Durch das sog. „Tenting“, das zeltförmige Anheben des Ductus choledochus durch den Zug an der Gallenblase nach oben und hinten, wird der Ductus cysticus mehr oder weniger mit dem Choledochus parallelisiert. Wird nicht ausgehend vom Infundibulum der Gallenblase präpariert, kann es zu einer Verwechslung der beiden Gallengänge und damit zu einer offenen Läsion (Typ 4) des Choledochus kommen. Möglicherweise begünstigen prograde Optiken diese Fehlinterpretation [13, 49].

Selbst bei regelhafter Präparation und richtiger Identifizierung des Ductus cysticus führt das Tenting nicht selten zu einer Stenosierung des Ductus choledochus durch am Cysticus zu tief applizierte Clips [14].

Auch in einer großen retrospektiven Studie mit einer Fallzahl von über 39000 Patienten zählen die Verletzungen an den Gallenwegen mit einer Inzidenz von 0.32% bei einer Gesamtkomplikationsrate von 1.04% (1.04-12.8% s. Tabelle 4) zu den häufigsten Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie [57].

Als Ursachen werden in absteigender Reihenfolge komplette Durchtrennung (Typ 4 nach Siewert), Verletzungen durch den Elektrokauter, Verletzungen durch Clips, Läsionen infolge des Tentings und allgemeine Operationsschwierigkeiten angegeben [49].

Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen ebenfalls Regöly-Merei et al. in einer multizentrischen retrospektiven Studie. Bei genauerer Betrachtung der verschiedenen Typen der Gallengangsverletzungen zeigt sich, dass die komplette Durchtrennung der großen Gallengänge, die Defektläsion (Typ 4 nach Siewert), mit 20.3% zu den

häufigen Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie zählen. Dazu gehören außerdem die partiellen Verletzungen an den großen Gallengängen, sie haben einen Anteil von bis zu 35.1%, und die Verletzungen am Ductus cysticus, die 26.4% aller biliären Komplikationen ausmachen. Excisionen von Gallengängen nehmen mit 6.8% ebenso wie Strikturen mit einem Anteil von 5.4% eine weniger bedeutende Stellung ein. Zu den selteneren Formen biliärer Komplikationen zählen Verletzungen an akzessorischen Gallengängen (2.1%) und kombinierte Läsionen (2.8%) [42].

In der in unserer Klinik durchgeführten retrospektiven Studie konnten wir vergleichbar hohe Inzidenzen für biliäre Komplikationen beobachten: Verletzungen am Ductus choledochus komplizierten insgesamt 13 der 736 Cholecystektomien, das entspricht einer mittleren Häufigkeit von **1.75%**. In insgesamt 10 Fällen, also in einer mittleren Häufigkeit von **1.3%** kam es im Rahmen der Präparation zu Läsionen akzessorischer Gallengänge.

Die möglichen Ursachen für die Gallengangsverletzung werden zu einem großen Teil (43.2%) in Identifizierungsproblemen gesehen, aber auch fehlpositionierte oder spontan abgerutschte Clips (14.2%), thermal bedingte Läsionen (12.8%) und kombinierte Verletzungen (10.1%) werden u.a. als mögliche Ätiologien diskutiert [42].

Die iatrogene Gallengangsverletzung ist eine der schwerwiegendsten und für den Patienten folgenreichsten Komplikationen. Lediglich 34.5% der biliären Läsionen werden bereits intraoperativ erkannt und therapiert. Die übrigen 65.5% der Gallengangsverletzungen werden erst später in der postoperativen Phase diagnostiziert. Bei spätem Erkennen - etwa 1/3 aller Patienten mit Gallengangsverletzung wird erst nach 3 Jahren operiert - und inadäquater Versorgung endet der langwierige Krankheitsverlauf, der von rezidivierenden cholangitischen Schüben geprägt ist, nicht selten in einer biliären Zirrhose [21].

Durchschnittlich sind 3 Interventionen nötig, um die Verletzungen an den zarten Gallenwegen erfolgreich zu beheben [13]. Unvollständige Resektion eines vernarbten Ganges, der Gebrauch von nicht resorbierbarem Nahtmaterial, eine zweischichtige Nahttechnik und eine präoperativ nicht sanierte subhepatische Infektionen werden als Gründe für Misserfolge bei Korrekturereingriffen angeführt [21].

Das Spektrum der notwendigen Interventionen umfasst von der einfachen Drainage über die innere Schienung mit dem T-Drain auch komplexe Operationen wie die Hepatico-Jejunostomie [49]. Die Revision derartiger Gallenwegsläsion ist aufwendig erfordert in jedem Fall einen erfahrenen Chirurgen, insbesondere dann, wenn bei Defektläsionen und schmalen Gallenwegen eine biliodigestive Anastomose angelegt werden muss [21].

Es besteht also ein großes Interesse daran, die Rate biliärer Komplikationen, die seit

den ersten laparoskopischen Operationen mit zunehmender Erfahrung der Chirurgen zwar eine rückläufige Tendenz aber immer noch hohe Inzidenz aufweist, weiter zu senken.

Die Einführung innovativer Instrumente, die die Übersichtlichkeit im Operationsgebiet steigern und damit Identifizierungsproblemen, einer der Hauptursachen der Gallengangsläsionen, vorbeugen und gleichzeitig die Präparationstechnik und –sicherheit verbessern, könnte zu einer weiteren Reduktion der Komplikationsrate führen.

Eine weitere häufige Komplikation nach laparoskopischer Cholecystektomie ist die postoperative Gallefistel (Typ 1 nach Siewert).

Die Gesamtkomplikationsrate postoperativer Gallecks liegt etwa bei 0.9% (0.2-1.8% s. Tabelle 4) [14]. Sie entstehen zum Beispiel bei zu tiefer Präparation im Gallenblasenbett als Folge der Leberparenchymverletzung.

Als ein Ergebnis unserer retrospektiven Studie konnten wir zeigen, dass in immerhin **13%** der laparoskopisch cholecystektomierten Patienten die Präparation der Gallenblase aus dem Gallenblasenbett nicht schichtgerecht gelang und in **1%** größere Läsionen der Leber zur Folge hatte.

Auch Verletzungen kleiner, extrahepatischer Gallengänge, eine Komplikation, die im Rahmen unserer Studie in einer mittleren Häufigkeit von **1.3%** auftrat, und v.a ein insuffizienter Verschluss des Ductus cysticus können zu einer postoperativen Gallefistel führen.

Solche Cysticus-Stumpfsuffizienzen - bei keiner der 736 in unserer Klinik durchgeführten laparoskopischen Cholecystektomien wurde diese Komplikation bereits intraoperativ durch den Chirurgen festgestellt und im OP-Bericht festgehalten - sind in der Literatur mit einer Häufigkeitsrate von 0.08-1.2% (s. Tabelle 4) beschrieben und oft Folge falsch gewählter oder gesetzter Clips. Während zu kleine Clips nicht den kompletten Gang erfassen, schließen zu groß gewählte im Zentrum nicht ausreichend. Auch im falschen Winkel zur Längsachse des Cysticus angebrachte Clips können zu postoperativen Gallecks führen. Selbst ein primär lege artis verschlossener Ductus cysticus kann sekundär insuffizient werden; z.B. kann bei intraluminaler Drucksteigerung - hervorgerufen durch einen Gallestau distal der Cysticuseinmündung - der Clip sekundär abrutschen [49].

Die Nekrose des Cysticusstumpfes - möglicherweise bedingt durch unachtsamen Einsatz des Elektrokauters - kann ebenfalls die Komplikation einer postoperativen Gallefistel nach sich ziehen [57].

Die Therapie von Galleckagen ist vergleichsweise unproblematisch: bei gezielter Drainage (als innere Galleableitung über einen Stent oder eine sog. nasobiliäre Sonde nach vorheriger Papillotomie – dabei handelt es sich um eine Sonde, die transnasal über Speiseröhre, Magen und Duodenum in den Gallengang vorgeschoben wird und somit die Galleflüssigkeit nach außen drainiert - oder als perkutane

Ableitung nach außen) heilen die Leckagen praktisch immer innerhalb von 1-2 Wochen ab. Unter der Therapie der perkutanen Katheterdrainage kommen sogar intrahepatische subkapsuläre Bilome zur Heilung [6].

Allerdings können neben subhepatische Abszessen (0.06-0.5% s. Tabelle 4) auch gallige Peritonitiden von solchen Leckagen ihren Ausgang nehmen. Diese seltene Komplikation stellt immer eine Indikation zur Laparotomie dar [49].

Zwar stellt die Blutung keine eingriffsspezifische Komplikation der laparoskopischen Cholecystektomie dar, dennoch ergeben sich für den Chirurgen besondere Probleme, die aus der operativen Vorgehensweise resultieren.

Schon kleinere Blutungen verschlechtern oft erheblich die Sicht und erschweren eine sichere Präparation. Hinzu kommt der vergrößernde Effekt der Optik, der die Blutungen häufig dramatischer erscheinen lässt.

Auch die Lokalisation der Blutungsquelle ist bei der laparoskopischen Technik problematisch, so dass in vielen Fällen eine Konversion zum konventionellen Verfahren nötig wird.

Mit einer Konversionsrate von nur **3.94%** war ein Umsteigen von der laparoskopischen zur konventionellen Methode im Rahmen unserer Studie vergleichsweise selten notwendig, in der Literatur finden sich Konversionsraten von 2.8-11% (s. Tabelle 4).

Die Blutung gehört zusammen mit Adhäsionen, akuter / subakuter Cholecystitis, fibrotischer Gallenblase und unklaren anatomischen Verhältnissen zu den häufigsten Gründen für Konversionen [18].

Faust et al. haben die Inzidenz solcher intraoperativen Blutungen in einer Studie mit einer Fallzahl von 1221 Patienten untersucht: bei 3.85% der Patienten komplizierten derartige Blutungen das operative Vorgehen. 2.1% waren bedingt durch Blutungen aus dem Gallenblasenbett. In 1.2% der Fälle wurde die Blutung durch eine Verletzung der A. cystica verursacht. Als seltene Blutungsquellen wurden angegeben: Blutungen aus Trokarincision (0.2%), durch Lebereinriss (0.15%) und Blutungen aus dem Mesocolon transversum (0.07%) [14].

Die an unserer Klinik durchgeführte Studie erbrachte vergleichbare Ergebnisse: Die Gesamtkomplikationsrate für Blutungen lag mit **1.8%** etwas niedriger als die in der Arbeit von Faust et al. angegebene Inzidenz [14].

Auch wir konnten zeigen, dass Gefäßverletzungen im Gallenblasenbett mit einer Häufigkeit von **1.2%** als Hauptursache für Blutungen bei laparoskopischer Cholecystektomie anzusehen sind. Damit wird die Bedeutung einer schichtgerechten Präparation auch für die Reduktion der Blutungskomplikationen deutlich.

Im Vergleich zur Arbeit von Faust et al. lag die Inzidenz für Blutungen aus der A. cystica in unserem Patientenkollektiv mit **0.3%** deutlich niedriger, die Inzidenz für Blutungen aus der Trocarincision mit ebenfalls **0.3%** nur geringgradig höher. Unsere

Ergebnisse sind durchaus vergleichbar mit den in der Literatur angegebenen Gesamtkomplikationsraten für Blutungen (0.01-1.44% s. Tabelle 4).

Der tamponadenartige Effekt des Pneumoperitoneums führt dazu, dass einige dieser intraoperativen, diffusen Blutungen übersehen und erst postoperativ z. B. als größeres Hämatom im Leberbett (Inzidenz bis zu 4.8% [45]) offensichtlich werden. Manche Autoren raten daher nach Entnahme der Gallenblase das Pneumoperitoneum für 5 min. abzulassen, um dann den Situs erneut auf Bluttrockenheit zu kontrollieren [44].

Die Verletzung innerer Organe wird als Komplikation bei laparoskopischer Cholecystektomie mit einer Häufigkeit von 0.03-0.5% angegeben [44]. Verletzungen am Duodenum, Kolon, an Leber, Milz und am Diaphragma (Gefahr eines Pneumothorax) sind in der Literatur beschrieben [18, 44, 45, 56].

Verletzungen am Dünndarm komplizierten insgesamt 3 - also **0.4%** - der im Rahmen unserer Studie durchgeführten laparoskopischen Cholecystektomien.

Verletzungen an der Leber wurden ebenfalls in 3 Fällen - also **0.4%** - beschrieben.

Solche Läsionen sind denkbar sowohl nach direktem Trauma - durch Veress-Nadel, Trokar oder andere Instrumente - als auch nach indirektem Trauma - durch unachtsamen Einsatz des Elektrokauters.

Umstände, die die Übersicht im Operationsfeld verschlechtern, wie beispielsweise Adhäsionen oder Blutungen, gehen mit einem erhöhten Risiko für Organverletzungen einher [44].

Eine sehr häufige methodenspezifische Komplikation bei laparoskopischer Cholecystektomie, die oft folgenlos ausheilt, ist die Gallenblasenperforation (Inzidenz 13-40% s. Tabelle 4).

Entsprechende Ergebnisse lieferte die an unserer Klinik durchgeführte Studie, in der sich Gallenblasenperforationen ohne Steinverlust in einer mittleren Häufigkeit von **17%** und Gallenblasenperforationen mit Steinverlust in **7%** der laparoskopischen Cholecystektomien zeigten.

Die Inzidenz solcher akzidentellen Gallenblaseneröffnungen mit intraoperativen Steinverlust wird in der Literatur mit Werten von 0.2-32% angegeben und liegt damit bei laparoskopischer Operationstechnik höher als bei konventioneller [11].

Auch die Bergung intraabdominell verlorener Gallensteine gestaltet sich in laparoskopischer Technik schwierig.

In einer tierexperimentellen Studie konnten Johnston et al. zeigen, dass es in 70% der Fälle in der Umgebung von intraabdominellen Gallensteinen zu Fremdkörpergranulomen und Verwachsungen und in 6.6% zur Abszedierung kommt [3, 19, 58].

Aber auch Spätkomplikationen wie bronchopleurale Fisteln durch einen wandernden Gallenstein [38], Fisteln zwischen Kolon und Bauchwand [23] oder die Ausbildung

eines Dünndarmileus durch einen intraluminal incarcerierten Gallenstein [11] sind beschrieben.

Solche Spätkomplikationen sind aber selten, so dass der intraoperative Steinverlust keine Indikation für eine Konversion darstellt. Vielmehr weisen die Autoren darauf hin, dass durch sichere und schonende Präparation sowie durch großzügigen Einsatz des Bergebeutel bei intraoperativer Eröffnung der Gallenblase die Komplikationsrate und damit auch das Risiko von Spätfolgen minimiert werden kann [58].

Bei der Betrachtung der methodenspezifischen Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie, fällt auf, dass diese Komplikationen oft die Folge sind von Identifizierungsproblemen, mangelnder Übersichtlichkeit im Operationsfeld und unsicherer, scharfer Präparation.

Immer wieder haben daher Chirurgen zusammen mit Medizintechnikern nach alternativen Zugangswegen [9, 26, 50, 55] und Präparationstechniken [36] gesucht, die diese Risikofaktoren reduzieren.

Zur schonenden und sicheren Dissektion im Chalot'schen Dreieck kamen sogar schon Kinderzahnbürsten zum Einsatz [36].

In der Entwicklung einer alternativen Operationsmethode, deren Ziel die Reduktion der Komplikationsraten bei laparoskopischer Cholecystektomie ist, müssen eben diese Ursachen der methodenspezifischen Komplikationen, nämlich die Identifizierungsprobleme - resultierend aus mangelnder Übersicht - sowie die unsichere und dabei scharfe Präparation Beachtung finden. Unter Berücksichtigung eben dieser Kriterien erfolgte die Entwicklung der laparoskopischen Cholecystektomie in Hydro-Jet Technik.

Unsere Erwartungen an diese neue Operationsmethode wurden nicht enttäuscht. Die Kombination der hydrodynamischen Eigenschaften des HJ-Strahls mit der mechanischen Dissektion durch die gebogene HJ- Sonde ermöglichte eine - nicht zuletzt durch die Gewebselektivität des Strahls - sichere, schichtgerechte und atraumatische Präparation in einem durch den kontinuierlichen Spüleffekt des Wasserstrahls übersichtlichen Operationsfeld. Diese positiven Erfahrungen am Tiermodell bestätigten sich auch beim klinischen Einsatz: die laparoskopische Cholecystektomie in Hydro-Jet Technik wurde inzwischen in unserer chirurgischen Klinik evaluiert.

Bei einer allgemeinen Bewertung der Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie darf nicht außer Acht gelassen werden, dass nur ein selektioniertes Patientengut dieser operativen Methode zugeführt wird, und dass die Komplikationen, die zu Konversionen geführt haben, in vielen Studien gesondert angegeben werden und so nicht in die Komplikationsraten mit einfließen.



## **SCHLUSSFOLGERUNG**

Das Spektrum und die Rate möglicher Komplikationen bei in laparoskopischer Technik durchgeführter Cholecystektomie wurden im Rahmen einer retrospektiven Literaturanalyse evaluiert. Es haben sich auch methodenspezifische Komplikationen isolieren lassen und Hinweise auf mögliche Ursachen dieser eingriffsspezifischen Komplikationen gezeigt.

Basierend auf diesen Erkenntnissen erfolgte die Entwicklung der laparoskopischen Cholecystektomie in Wasserstrahldissektionstechnik. Mit dieser neuen Operationsmethode ließ sich infolge der Kombination von hydrodynamischer und mechanischer Dissektion eine sichere, schichtgerechte, atraumatische und damit blutungsarme Präparation der Gallenblase in einem - durch den kontinuierlichen Spüleffekt des Wasserstrahls - übersichtlichen Operationsfeld realisieren.

Nach unseren Erfahrungen könnte der Einsatz dieser alternativen Präparationstechnik im Hinblick auf Spektrum und Rate methodenspezifischer Komplikationen durchaus zu einer weiteren Reduktion der Komplikationsraten bei der in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomie führen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Grundlage dieser Arbeit bildete eine detaillierte Analyse möglicher Komplikationen der schon über 15 Jahre als Routineeingriff geltenden laparoskopischen Cholecystektomie. Ausführlich haben wir Spektrum und Rate möglicher Komplikationen dieser Operationsmethode dargestellt, methodenspezifische Komplikationen isolieren und auch Hinweise auf mögliche Ursachen dieser eingriffsspezifischen Komplikationen aufzeigen können.

In der anschließend durchgeführten, retrospektiven Studie, die die intraoperativen Komplikationen der in der chirurgischen Abteilung unserer Klinik in den Jahren 1996-1999 in laparoskopischer Technik durchgeführten Cholecystektomien anhand von Operationsberichten untersuchte, bestätigten sich die Ergebnisse der vorhergehenden Literaturanalyse: deutliche Abweichungen der Inzidenzen einzelner Komplikationsraten zeigten sich nicht. Am Beispiel der iatrogenen Gallengangläsion, einer der schwerwiegendsten Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie, ließen sich als Kernursachen der methodenspezifischen Komplikationen, Identifizierungsprobleme - resultierend aus mangelnder Übersicht im Operationsfeld -, sowie eine unsichere und dabei scharfe Präparation isolieren.

Unser Ziel war die Entwicklung und Evaluierung der laparoskopischen Cholecystektomie in Hydro-Jet Technik unter Berücksichtigung dieser methodenspezifischen Komplikationen und unter der Fragestellung einer möglichen Reduktion der eingriffsspezifischen Komplikationsraten durch den Einsatz dieser alternativen Operationsmethode. Unsere Erwartungen an diese neue Operationsmethode wurden nicht enttäuscht. Die Kombination der hydrodynamischen Eigenschaften des HJ-Strahls mit der mechanischen Dissektion durch die gebogene HJ-Sonde ermöglicht eine - nicht zuletzt durch die Gewebselektivität des Strahls - sichere, schichtgerechte und auch atraumatische Präparation in einem durch den kontinuierlichen Spüleffekt des Wassers übersichtlichen Operationsfeld. Dabei führt die Applikation des Wasserstrahls in den subvesikalen und subserösen Raum zu einer Expansion dieses Spaltraumes und damit zu einer weiteren, erheblichen Erleichterung der Präparation. Bedingt durch die Gewebselektivität des Wasserstrahls, die unter Schonung der Blut- und Gallengefäße zu einer Verdrängung des weichen Binde- und Fettgewebes führt, ist eine sichere Präparation, Identifizierung, Durchtrennung und Versorgung der wichtigen Leitstrukturen gewährleistet.

Diese positiven Erfahrungen am Tiermodell bestätigten sich auch beim klinischen Einsatz. Im Hinblick auf Spektrum und Rate methodenspezifischer Komplikationen könnte der breite Einsatz der Wasserstrahldissektionstechnik durchaus zu einer weiteren Reduktion der Komplikationsraten bei der laparoskopischen Cholecystektomie führen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- 1. Archer S.B., Brown D.W., Smith C.D., Branum G.D., Hunter J.G.**  
Bile duct injury during laparoscopic cholecystectomy. Results of a national survey.  
Ann Surg 234, 549-559 (2001)
- 2. Arnott R.**  
Surgical practice in the prehistoric Aegean.  
Medizinhist J 32, 249-278 (1997)
- 3. Bennett A.A., Gilkeson R.C., Haaga J.R., Makkar V.K., Onders R.P.**  
Complications of „dropped“ gallstones after laparoscopic cholecystectomy: Technical considerations and imaging findings.  
Abdom Imaging 25, 190-193 (2000)
- 4. Baer H.U., Blumgart L.H.**  
Anmerkung zur Veröffentlichung von H. Rau et al.: Schneiden mit dem Wasserstrahl (Jet-Cutting) - eine Alternative zum Ultraschallaspirator ?  
Chirurg 62, 356 (1991)
- 5. Baer H.U., Maddern G.J., Blumgart L.H.**  
A new water-jet dissektor: initial experience in hepatic surgery.  
Br J Surg 78, 502-503 (1991)
- 6. Cervantes J., Rojas G.A., Ponte R.**  
Intrahepatic subcapsular biloma. A rare complication of laparoscopic cholecystectomy.  
Surg Endosc 8, 208-210 (1994)
- 7. Chumillas M.S., Ponce J.L., Delgado F., Viciano V.**  
Pulmonary function and complications after laparoscopic cholecystectomy.  
Eur J Surg 164, 433-437 (1998)
- 8. Cuschieri A.**  
Experimental Evaluation of Water-Jet Dissection in Endoscopic Surgery.  
Endosc Surg 2, 202-204 (1994)
- 9. Davides D., Dexter S.P.L., Vezakis A., Larvin M., Moran P., McMahon M.J.**  
Micropuncture laparoscopic cholecystectomy.  
Surg Endosc 13, 236-238 (1999)

- 10. Dietzel M., Lippert H., Gastinger I., Schramm H.,**  
Die „akute Galle“ – laparoskopische Cholecystektomie häufig möglich.  
Ergebnisse einer Multicenterstudie der Ostdeutschen Arbeitsgruppe für  
Leistungserfassung und Qualitätssicherung in der Chirurgie.  
Zentralbl Chir 125, 547-551 (2000)
- 11. Dittrich K., Weiss H.**  
Dünndarmileus durch einen verlorenen Gallenstein.  
Chirurg 66, 443-445 (1995)
- 12. Doyen E.**  
Demonstration zur Diathermie ( Elektrokoagulation ).  
3. Intern Kongr Physiother Paris (1910)
- 13. Escourrou J., Berthelemy P.**  
Biliäre Komplikationen nach laparoskopischer Cholecystektomie.  
Dtsch Med Wochenschr 118, 1157-1162 (1993)
- 14. Faust H., Ladwig D., Reichel K.**  
Die laparoskopische Cholecystektomie als Standardeingriff bei symptomatischer  
Cholecystolithiasis. Erfahrungen bei 1277 Patienten.  
Chirurg 65, 194-199 (1994)
- 15. Hannan E., Imperato P., Nenner R., Starr H.**  
Laparoscopic and open cholecystectomy in New York State: Mortality,  
complications, and choice of procedure.  
Surgery 125, 223-231 (1999)
- 16. Hashizume M., Sugimachi K.,**  
Needle and trocar injury during laparoscopic surgery in Japan.  
Surg Endosc 11, 1198-1201 (1997)
- 17. Hasson H.M.**  
Open laparoscopy: a report of 150 cases.  
J Reprod Med 12, 234-238 (1974)
- 18. Ihasz M., Hung C.M., Regöly-Merei J., Fazekas T., Batorfi J., Balint A.,  
Zaborsky A., Posfai G.**  
Complications of Laparoscopic Cholecystectomy in Hungary:  
A Multicentre Study of 13 833 Patients .  
Eur J Surg 163, 267-274 (1997)

- 19. Johnston S., O'Malley K., McEntee G., Grace P. et al**  
The need to retrieve the dropped stone during laparoscopic cholecystectomy.  
Am J Surg 167, 608 (1994)
- 20. Jones D.B., Soper N.J.**  
Complications of laparoscopic cholecystectomy.  
Annu Rev Med 47, 31-44 (1996)
- 21. Klima S., Schyra B.,**  
Gallengangsverletzung bei laparoskopischer Cholecystektomie - eine Standortbestimmung.  
Langenbecks Arch Chir Suppl II, 1111- 1113 (1997)
- 22. Köckerling F., Schneider C., Reymond M., Hohenberger W.**  
Komplikationsbeherrschung bei der laparoskopischen Cholecystektomie: diffuse Parenchymblutung im Leberbett.  
Zentralbl Chir 122, 405-408 (1997)
- 23. Kraft K., Butters M., Bittner R.**  
Der verlorene Gallenstein - Komplikation nach laparoskopischer Cholecystektomie.  
Chirurg 65, 142-143 (1994)
- 24. Kum C.K., Wong B.S., Goh P.M.**  
Comparative study of pain level and analgesic requirement after laparoscopic and open cholecystectomy.  
Surg Laparosc Endosc 4, 139-141 (1994)
- 25. Lau W., Leow C., Arthur K.**  
History of Endoscopic and Laparoscopic Surgery.  
World J Surg 21, 444-453 (1997)
- 26. Laws H.L.**  
Laparoscopic cholecystectomy utilizing two ports.  
Surg Endosc 10, 857-858 (1996)
- 27. Litynski G., Schaeff B., Paolucci V.**  
Zum 100. Geburtstag von Heinz Kalk. Der Durchbruch der Laparoskopie.  
Z Gastroenterol 33, 594-597 (1995)
- 28. Litynski G., Paolucci V.**  
Letters to the Editor

World J Surg 22, 1108-1111 (1998)

**29. Meyer-Steineg Th., Sudhoff K., Herlinger R.**

Illustrierte Geschichte der Medizin

5.Auflage, 1-62, Fischer, Stuttgart (1965)

**30. Moll F.**

Historische Anmerkungen zur Entwicklung von Endoskopie und minimal invasiver Operationstechnik.

Z Ärztl Fortbild 88, 333-344 (1994)

**31. Mühe E.**

Die erste Cholecystektomie durch das Laparoskop.

Langenbecks Arch Chir 296, 804 (1986)

**32. Mussack T., Trupka A.W., Schmidbauer S., Hallfeldt K.K.J.**

Zeitgerechtes Management von Gallengangskomplikationen nach laparoskopischer Cholecystektomie.

Chirurg 71, 174-181 ( 2000)

**33. Nadeau O., Kampmeier O.**

Endoscopy of the abdomen; Abdominoscopy. A preliminary study, including a summary of the literature and a description of the technique.

Surg Gynecol Obstet 3, 259-271 (1925)

**34. Nagelschmidt F.**

Lehrbuch der Diathermie für Ärzte und Studierende

3.Aufl., Springer, Berlin (1926)

**35. Nair R.G., Dunn D.C., Fowler S., McCloy R.F.**

Progress with cholecystectomy: improving results in England an Wales

Br J Surg 84, 1396-1398 (1997)

**36. Ohashi S., Taniguchi E., Takiguchi S.**

Brush dissection technique in laparoscopic cholecystectomy.

Surg Endosc 13, 311-312 (1999)

**37. Papachristou D.N., Barters R.,**

Resection of the liver with a water jet.

Br J Surg 69, 93-94 (1982)

**38. Porte R.J., Coerkamp E.G., Koumans R.K.J.**

False aneurysm of a hepatic artery branch and a recurrent subphrenic abscess.  
Surg Endosc 10, 161-163 (1996)

**39. Rau H.G.**

Apparative und methodische Entwicklung des Jet-Cutting für den Einsatz in der Leberchirurgie.

Med. Habil. Schr. Ludwig-Maximilians-Universität München, 1994

**40. Rau H.G, Arnold H., Schildberg F.**

Schneiden mit dem Wasserstrahl (Jet-Cutting) - eine Alternative zum Ultraschallaspirator

Chirurg 61, 735-738 (1990)

**41. Rau H.G., Blumgart L.H.**

Stellungnahme zur Anmerkung von H.U. Baer und L.H. Blumgart.

Chirurg 62, 356 (1991)

**42. Regöly-Merei J., Ihasz M., Szeberin Z., Sandor J., Mate M.**

Biliary tract complications in laparoscopic cholecystotomy. A multicenter study of 148 biliary tract complications in 26,440 operations.

Surg Endosc 12, 294-300 (1998)

**43. Rock J., Jeffrey R.**

The history and future of operative laparoscopy.

Am J Obstet Gynecol 170, 7-11 (1994)

**44. Roviario G., Maciocco M., Rebuffat C., Varioli F., Vergani V., Rabughino G.,**

**Scarduelli A.**

Complications following cholecystectomy.

R Coll Surg Edinb 42, 324-328 (1997)

**45. Rupp K.D., Sturbeck K., Holzgreve A., Hohlbach G.**

Komplikation nach laparoskopischer Cholecystektomie.

Zentralbl Chir 120, 360-363 (1995)

**46. Schurr M.O., Wehrmann M., Kunert W., Melzer A., Lirici M.M., Trapp R., Kanehira E., Buess G.**

Histologic Effects of Different Technologies for Dissection in Endoscopic Surgery: Nd: YAG Laser, High Frequency and Water Jet.

Endosc Surg 2, 195-201 (1994)

**47. Semm K.**

Die endoskopische Appendektomie.  
Gynäkol Praxis 7, 131-140 (1983)

**48. Siewert J.R., Feussner H., Scherer M.A., Brune I.B.**

Fehler und Gefahren der laparoskopischen Cholecystektomie.  
Chirurg 64, 221-229 (1993)

**49. Siewert J.R., Ungeheuer A., Feussner H.**

Gallenwegsläsion bei laparoskopischer Cholecystektomie.  
Chirurg 65, 748-757 (1994)

**50. Steinhilper U., Bonn S., Kopf S.**

Mikroinvasive laparoskopische Cholecystektomie mit 2-mm-Instrumenten.  
Methodenvorstellung und erste Ergebnisse.  
Chirurg 72, 1-5 (2001)

**51. Stellato T.**

History of laparoscopic surgery.  
Surg Clin North Am 5, 997-1002 (1992)

**52. Strebel F.**

Eine neue Behandlungsweise für Lupus und bösartige Neubildungen mittels  
molekularer Zerstörung durch kontinuierliche, hochfrequente Funkenströme.  
Dtsch Med Wochenschr 2, 63 (1904)

**53. Terzis A. J. A.**

In vitro Untersuchungen zum Water-Jet-Cutting an Hirngewebe.  
Med. Diss. Lübeck 1988

**54. Une Y., Uchino J., Horie T., Sato Y., Ogasawara K., Kakita A., Sano F.**

Liver resection using a water jet.  
Cancer Chemother Pharmacol 23 Suppl, 74-77 (1989)

**55. Unger S.W., Paramo J.C., Perez M.**

Microlaparoscopic cholecystectomy – less invasive gallbladder surgery.  
Surg Endosc 14, 336-339 (2000)

**56. Wu J.S., Dunnegan D.L., Luttmann D.R., Soper N.J.**

The evolution and maturation of laparoscopic cholecystectomy in an  
academic practice.  
J Am Coll Surg 5, 554-560 (1998)



**57. Xiaoqiang H., Yuquan F., Zhiqiang H.**

Complication of laparoscopic cholecystectomy in China: an analysis of 39238 cases.

Chin Med J 110, 704-706 (1997)

**58. Zarras K., Graupe F., Hansen O.,**

Spätabseß nach laparoskopischer Cholecystektomie durch verlorenen Gallenstein.

Chirurg 67, 1047-1049 (1996)

## ANHANG

### ABBILDUNGEN UND TABELLEN

#### ABBILDUNGEN

Abbildungen 1-8 finden sich im fortlaufenden Text auf folgenden Seiten:

Abb. 1 S.12, Abb. 2 S.13, Abb. 3 S.14, Abb. 4 S.16, Abb. 5 S.17, Abb. 6 S.21,  
Abb. 7 S.21, Abb. 8 S.22

#### TABELLEN

<b>Druckbereich</b>	<b>0-150 bar = 15mPa</b>
<b>Düsendurchmesser</b>	<b>120µm</b>
<b>Druckerzeugung</b>	<b>elektrohydraulisch</b>
<b>Druckregulierung</b>	<b>stufenlos über Fußschalter</b>
<b>Flussgeschwindigkeit</b>	<b>32,9 ml/min</b>
<b>Arbeitsdruck</b>	<b>120 µm-Düse, 30 bar</b>
<b>Abmessungen</b>	<b>600 (B) x 1470 (H) x 810 (T) mm</b>
<b>Gewicht</b>	<b>95kg</b>

**Tab. 1: Technische Daten zum Hydro-Jet-Dissektor**

<b>Anästhesie</b>	<b>Tracheotomie, Cholecystektomie</b>
Injektionsnadeln, Spritzen	Skalpelle, Pinzetten, Präparierschere, Tubus, Kompressen
Rompun, Ketamin, Dormicum, Atropin	Veress-Nadel, 1 Optik 30°
i.v. Zugang	10mm Trokare (2), 5mm Trokare (2), 2 Reduzierkappen
Pflaster	1 Präparierklemme, 1 Präparierschere
Ringer-Lsg., Infusionssystem	1 Gallenblasenfaßzange, 1 bipolare Koagulationszange
Halothan, Sauerstoff	1 Clipzange, Clips
Monitor, Pulsoxymeter	

**Tab. 2: Material und Instrumentarium für die laparoskopische Cholecystektomie in Hydro-Jet Technik**

**Tab. 3 siehe S.18**

Studie	[48]	[48]	[14]	[45]	[57]	[18]	[35]	[44]	[16]	[42]	[10]
<b>Jahr</b>	1993	1993	1994	1995	1997	1997	1997	1997	1997	1998	2000
<b>Patientenanzahl</b>	25644	2916	1277	250	39238	13833	2769	1005	15422	26440	2674
<b>Gesamtmorbidität</b>	4.42%	5.3%		12.8%	1.04%	5.8%	8.3%		2.7%		4.6%
<b>Letalität</b>	0.085%	0.11%	0.15%	0.0%	0.04%	0.14%		0.0%	0.0%		
<b>Konversionsrate</b>		2.8%	4.4%	11%		5.3%	6.7%	3.6%		4.5%	
<b>Blutungen</b>	0.06%	0.22%	0.6%		0.01%	1.44%	0.6%	0.1%	0.46%		0.4%
<b>Gefäßverletz.</b>		0.07%				0.04%			-0.6%		0.4%
<b>Perforationen</b>						13-40%					
<b>Perforation mit Steinverlust</b>		0.22%				0.01%	0.4%				0.3%
<b>Intraperitonealer Abszess</b>		0.06%	0.4%		0.07%	0.15%		0.5%			0.04%
<b>Gallengangsverletz.</b>	-2.9%	0.31%	0.5%	0.4%	0.32%	0.58%	0.07%	0.3%		0.6%	0.1%
<b>Cysticus- Stumpfinsuffizienz</b>		0.22%	0.08%	1.2%	0.11%						
<b>Gallefistel</b>	0.9%	0.26%	0.6%		0.2%	1.31%	1.4%	0.3%		1.8%	0.4%
<b>Verletz. Innerer Organe</b>					0.06%	0.44%		0.03- 0.5%	0.14%		0.04%
<b>Verletz. Darm</b>		0.05%	0.3%	0.4%		0.1%					
<b>Zwerchfellverletz. -perforation/Pneu</b>				0.4%		0.09%		0.1%			0.1%
<b>Verletz. durch Nadel/Trokar</b>									1.02%		0.8%
<b>Aortenverletz. mit Veress / Trokar</b>				0.4%				0.1%	0.03- 0.06%		
<b>Darmverletz. Mit Trokar</b>				0.4%				0.1%			
<b>Subkutanes Emphysem</b>					0.16%				0.36%		0.1%
<b>Wundkompl.</b>	1.3%	1.1%	2.6%	3.6%			1.2%				1%
<b>Narbenhernien</b>		0.13%	0.4%	0.8%	0.01%				0.06%		

**Tab. 4: Komplikationen bei laparoskopischer Cholecystektomie – eine  
Literaturanalyse, zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse 11  
prägnanter Studien**

## LEBENS LAUF

### Persönliche Daten:

Name: Christina Beiring, geb. Hand  
Geburtsdatum: 18.08.1974  
Geburtsort: Husum / Nordsee  
Vater: Dr. V. Hand, Oberstudienrat i.R.  
Mutter: I. Hand, geb. Vogt, Lehrerin / Primarstufe i.R.  
Geschwister: Schwester, Lehrerin Sekundarstufe II  
Bruder, Kommissar  
Staatsangehörigkeit: deutsch

### Schulischer Werdegang:

Juli 1981 – Juni 1985 Iven-Agßen-Grundschule in Rödemis  
August 1985 – September 1998 Hermann-Tast-Gymnasium in Husum  
Juni 1994 Allgemeine Hochschulreife

### Universitärer Werdegang:

#### Studium der Humanmedizin:

November 1994 – April 1995 Universität Leipzig  
Oktober 1995 – September 1998 Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Oktober 1998 – Oktober 2001 Medizinische Universität zu Lübeck

#### Staatliche Prüfungen:

September 1997 Physikum  
September 1998 1. Staatsexamen  
Oktober 2000 2. Staatsexamen  
Oktober 2001 3. Staatsexamen

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades in der chirurgischen Klinik der Medizinischen Universität zu Lübeck:

Retrospektive Studie SS 1999, Experimentelle Studie SS 1999 – WS 1999/2000

Seit Dezember 2001 angestellt als wissenschaftliche Mitarbeiterin der Med. Klinik III des UKSH Campus Lübeck ( Elternzeit 21.01.2004 - 20.01.2005, 25.05.2006 - 31.03.2008 ).

## DANKSAGUNG

Herrn PD Dr. med. H. Shekarriz danke ich für die freundliche Überlassung des Themas meiner Dissertation und für die große, unermüdliche Hilfe sowohl im experimentellen Teil der Arbeit als auch bei der Erstellung der Dissertation.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. H.-P. Bruch für die Möglichkeit, in seiner Klinik wissenschaftlich arbeiten zu dürfen und die große Unterstützung durch Bereitstellung der Laboratorien und technischen Vorraussetzungen.

Weiterhin möchte ich dem Leiter der Tierhaltung, Herrn Dr. med. vet. R. Noel, herzlich danken.

Auch den Mitarbeiter/Innen des chirurgischen Archivs danke ich für die zur Verfügung gestellten Patientenakten bzw. Einsicht in die Operationsberichte.

Weiterhin möchte ich mich bei meinem Mann bedanken, der mir durch seinen Beitrag bei der rechnerunterstützten Erstellung des Textes und seine konstruktive Kritik bei der Verfassung der Arbeit eine große Hilfe war.

Mein ganz besonderer, aufrichtiger Dank gebührt meinen Eltern.